



TUGAS AKHIR TF091381

STUDI EKSPERIMENTAL MEKANISME *PASSIVE-PITCH* DENGAN *FLAPPING WING* PADA TURBIN VERTIKAL AKSIS TIPE *DARRIEUS*

MECHA GARYNDA ADETAMA GUNAWAN
NRP. 2410 100 035

Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT TF091381

EXPERIMENTAL STUDY OF PASSIVE-PITCH MECHANISM WITH FLAPPING WING ON VERTICAL AXIS TURBINE DARRIEUS TYPE

MECHA GARYNDA ADETAMA GUNAWAN
NRP. 2410 100 035

Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

**STUDI EKSPERIMENTAL MEKANISME *PASSIVE-PITCH*
DENGAN *FLAPPING WING* PADA TURBIN VERTIKAL
AKSIS TIPE DARRIEUS**

TUGAS AKHIR

Oleh :

Mecha Garynda Adetama Gunawan

NRP : 2410 100 035

Surabaya, 20 Juni 2014

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I ,

Pembimbing II ,

Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

NIPN. 19761223 200501 1 001

Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**

Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

NIPN. 19650309 199002 1 001

STUDI EKSPERIMENTAL MEKANISME *PASSIVE-PITCH* DENGAN *FLAPPING WING* PADA TURBIN VERTIKAL AKSIS TIPE DARRIEUS

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MECHA GARYNDA ADETAMA GUNAWAN
NRP. 2410 100 035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 1 Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. (Pembimbing I)
- 2 Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)
- 3 Ir. Sarwono, M. M. (Penguji I)
- 4 Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. (Penguji II)
- 5 Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji III)
- 6 Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc. (Penguji IV)

SURABAYA
JULI 2014

STUDI EKSPERIMENTAL MEKANISME *PASSIVE-PITCH* DENGAN *FLAPPING WING* PADA TURBIN VERTIKAL AKSIS TIPE DARRIEUS

Nama Mahasiswa : Mecha Garynda Adetama Gunawan
NRP : 2410 100 035
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstrak

Telah dilakukan eksperimen tentang turbin vertikal aksis tipe darrieus dengan menggunakan mekanisme passive-pitch dengan flapping wing. Eksperimen ini dilakukan di lokasi daerah Umbulan, Pasuruan, Jawa Timur. Turbin ini diuji pada kecepatan aliran sebanyak 5 variasi yaitu 0,67 m/s; 0,72 m/s; 0,806 m/s; 0,98 m/s; dan 1,15 m/s dan menggunakan variasi sudut pitch 10° dan 20°. Kemudian dari eksperimen tersebut didapatkan data RPM dan torsi. Dari data yang diperoleh nilai rata-rata RPM dan torsi tertinggi yaitu pada kecepatan aliran 1,15 m/s dan menggunakan sudut pitch 20° yaitu dengan nilai RPM 77,34 dan nilai torsinya 17,41 N.m. Sedangkan untuk nilai rata-rata RPM dan torsi terendah yaitu pada kecepatan aliran 0,67 m/s dan menggunakan sudut pitch 10° dengan nilai RPM 38,18 dan torsi 11,13 N.m. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan aliran sungai maka semakin besar nilai RPM dan torsi yang dihasilkan, ini dapat dibuktikan dengan persamaan kecepatan sudut yaitu kecepatan aliran (v) berbanding lurus dengan kecepatan putar turbinnya atau RPM (ω). Untuk efisiensi dari turbin yang paling tinggi terdapat pada kecepatan 0,67 m/s dengan sudut pitch 20° yaitu sebesar 20,01%. Dan bilangan Reynold yang tertinggi dihasilkan pada aliran 1,15 m/s dengan nilai $513,39 \times 10^3$.

Kata kunci: Turbin Vertikal Aksis, Tipe Darrieus, Passive-pitch, RPM, Torsi, Flapping wing, Bilangan Reynold



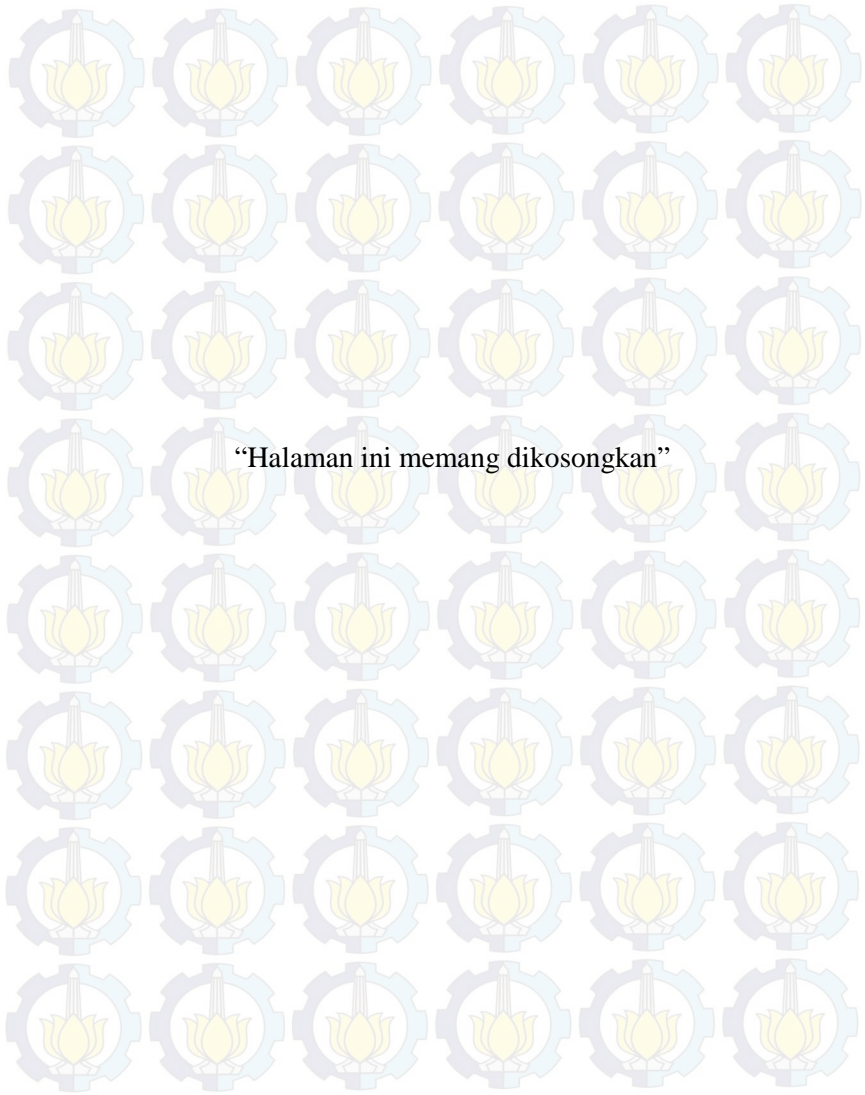
EXPERIMENTAL STUDY OF PASSIVE-PITCH MECHANISM WITH FLAPPING WING ON VERTICAL AXIS TURBINE DARRIEUS TYPE

Name : Mecha Garynda Adetama Gunawan
NRP : 2410 100 035
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstract

Have performed experiments on vertical axis turbine Darrieus-type using passive-pitch mechanism with flapping wings. This experiment was conducted at the site Umbulan area, Pasuruan, East Java. The turbine was tested at a flow rate of variations are 0.67 m/s; 0.72 m/s; 0.806 m/s; 0.98 m/s; and 1.15 m/s and using a variation of the pitch angle of 10° and 20° . Then the data obtained from these experiments is RPM and torque. From the data obtained the average value of the highest RPM and torque at a flow rate of 1.15 m / s and using pitch angle of 20° , the RPM value is 77.34 and 17.41 N.m is torque value. As for the average value of the lowest RPM and torque is at a flow rate 0.67 m / s and using the value of the pitch angle 10° , the RPM and torque value is 38.18 and 11.13 N.m. From these data it can be seen that the higher the speed of the flow, the greater the value of RPM and torque produced, this can be evidenced by the angular velocity equation is the flow velocity (v) is proportional to the rotational speed or RPM The turbine (ω). For the efficiency of the turbine the highest is the flow velocity of 0,67 m/s with pitch angle of 20° is 20.01%. And the highest Reynolds number flow generated at 1.15 m/s with a value of 513.39×10^3 .

Keywords: *Vertical Axis Turbine, Darrieus Type, Passive-Pitch, RPM, Torque, Flapping wing, Reynold number*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Eksperimental Mekanisme *Passive-Pitch* dengan *Flapping Wing* pada Turbin Vertikal Aksis Tipe Darrieus”**. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Alm. Ir. Gunawan yang selalu mendoakan saya disana, Ibu Retno Dewi Yanti, adek Reno Ray Dippa Gunawan, dan seluruh keluarga tercinta yang senantiasa memberikan motivasi dan do'a.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT. dan Ibu Nur Laila Hamidah, ST, M.Sc. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan Bapak Ir. Moch. Ilyas HS., selaku dosen wali penulis yang telah sabar memberikan petunjuk, bimbingan, serta ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Ir. Sarwono, MM., selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Saudara Susilo yang telah mau menjadi partner dan membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Bro Mardi yang ikut membantu dalam pembuatan turbin.
8. Achmadi yang ikut serta dalam membantu pengambilan data.
9. Saudari Rizka Sabrina Irsalina yang selalu memberi semangat dan motivasi untuk penulis.

10. Teman-teman Hima A dan Cicil'z Boys yang selalu mendukung dan memberi motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
11. Teman-teman asisten Laboratorium Pengukuran Fisis, Ulfa, Rista, Evan, Susilo, Hafiez, Widy, Aulia, Riza dan Gyan, Jordy, Seno, Didin, Ganef, Gigih, Kholish, Riza Aris, Faruq, Arin, Ria, Nadhifa, Wilujeng.
12. Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah membantu melakukan penyelesaian dalam Tugas Akhir ini.
13. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir bidang Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan, Susilo, Rois, Rizky, Renda, Riyo, Hari, Fahmi, Esti, Azmi, dan mas Mirza.
14. Yesri, Marsha, Ivy, Atma, Vian, Rifnaldi, dan Widy yang selalu memberikan motivasi dan setia mendengarkan keluh kesah penulis.
15. Pegawai PDAM Umbulan yang telah memberikan izin untuk dilakukan pengambilan data
16. Serta teman-teman 2010 lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.
17. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini terima kasih banyak.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, 3 Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
COVER.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR NOTASI.....	xxi
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Turbin Arus Sungai.....	5
2.2 <i>Vertical Axis Turbine Darrieus Type</i>	6
2.3 Daya Air.....	9
2.4 Daya dan Efisiensi Turbin.....	10
2.5 <i>Reynold Number</i>	11
2.6 <i>Ripple Torque</i>	11
2.7 <i>Lift and Drag VAT</i>	12
2.8 <i>Aspect Ratio</i>	13
2.9 <i>Airfoil NACA</i>	14
2.9.1 Persamaan NACA.....	15
2.10 <i>Passive Pitch</i>	16
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	 17
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	17

3.2 Lokasi Eksperimen	19
3.3 Variabel Bebas	20
3.4 Geometri Turbin	21
3.5 Fabrikasi Turbin	23
3.6 Eksperimen	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Data Hasil Eksperimen	31
4.2 Efek Perubahan Kecepatan Aliran dan Sudut <i>Pitch</i>	36
4.2.1 Efek Perubahan Kecepatan Aliran	37
4.2.1 Efek Perubahan Sudut <i>Pitch</i>	38
4.3 Profil Posisi Pergerakan <i>Airfoil</i>	39
4.4 <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR)	41
4.5 Efisiensi Turbin	44
4.6 Ripple Torsi	48
4.6 Pembahasan	49
BAB V KESIMPULAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN A	57
LAMPIRAN B	69
LAMPIRAN C	71

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1.	Contoh penggunaan turbin air	6
Gambar 2.2.	Klasifikasi model <i>Hydrokinetic Turbine</i>	7
Gambar 2.3.	HAT (<i>Horizontal Axis Turbine</i>)	7
Gambar 2.4.	VAT (<i>Vertical Axis Turbine</i>)	8
Gambar 2.5.	Model <i>Curved Bladed</i> dan Model <i>Straight Bladed</i>	9
Gambar 2.6.	Gaya <i>Lift and Drag</i> pada turbin vertikal aksis tipe Darrieus	13
Gambar 2.7.	Profil NACA 0018	15
Gambar 2.8.	Profil NACA 0021	15
Gambar 2.9.	Mekanisme <i>Passive Pitch</i>	16
Gambar 3.1.	Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir	17
Gambar 3.2.	Grafik Profil kecepatan aliran arus sungai pada tiap titik	20
Gambar 3.3.	Profil koordinat <i>airfoil</i> NACA 0018	22
Gambar 3.4.	Desain piringan (<i>flywheel</i>) turbin.	22
Gambar 3.5.	<i>Prototype</i> turbin secara 3D dan bagian-bagiannya	23
Gambar 3.6.	Pembuatan awal <i>blade</i> turbin menggunakan desain <i>airfoil</i> NACA 0018	25
Gambar 3.7.	Penggabungan <i>airfoil</i> yang sudah jadi dengan <i>stopper</i>	25
Gambar 3.8.	Pemasangan piringan (<i>flywheel</i>) dan <i>shaft</i> yang sudah jadi satu pada kerangka rumah turbin	26
Gambar 3.9.	(a) <i>Stopper</i> untuk sudut <i>pitch</i> 10° (b) <i>Stopper</i> untuk sudut <i>pitch</i> 20°	26
Gambar 3.10.	Penunjuk Pergerakan <i>Blade</i>	27

Gambar 3.11.	Pemasangan <i>blade</i> , <i>stopper</i> , dan penunjuk <i>blade</i> turbin pada <i>flywheel</i> turbin	27
Gambar 3.12.	Mekanisme pemasukan turbin ke dalam air	29
Gambar 3.13.	Mekanisme penempatan alat ukur <i>Tachometer</i> dan <i>Torque wrench</i>	29
Gambar 4.1.	Grafik perbandingan rata-rata dari Hasil Torsi untuk setiap variasi sudut <i>pitch</i> terhadap variasi kecepatan arus sungai.	35
Gambar 4.2.	Grafik perbandingan rata-rata dari Hasil RPM untuk setiap variasi sudut <i>pitch</i> terhadap variasi kecepatan arus sungai	35
Gambar 4.3.	Pergerakan foil pada mekanisme <i>flapping wing</i> untuk <i>pitch angle</i> 10°	39
Gambar 4.4.	Pergerakan foil pada mekanisme <i>flapping wing</i> untuk <i>pitch angle</i> 20 derajat	40
Gambar 4.5.	Grafik perbandingan nilai rata-rata TSR untuk masing-masing sudut <i>pitch</i>	43
Gambar 4.6.	Grafik perbandingan nilai rata-rata efisiensi untuk masing-masing sudut <i>pitch</i>	48
Gambar 4.7.	Grafik perbandingan data RPM dengan eksperimen sebelumnya untuk sudut <i>pitch</i> 10°	50
Gambar 4.8.	Grafik perbandingan data RPM dengan eksperimen sebelumnya untuk sudut <i>pitch</i> 20°	51

DAFTAR NOTASI

P	Daya Air (Watt)
ρ	Rapat massa air (kg/m^3)
A	Area tegak lurus terhadap air dibentuk oleh rotor (m^2)
v	Kecepatan fluida (m/s)
r	Jari-jari turbin
ω	Kecepatan sudut (rad/s)
T	Torsi turbin per detik
KEF	<i>Kinetic Energy Flux</i>
l	Panjang <i>blade</i>
D	Diameter turbin
μ	Viskositas fluida absolut dinamis
σ	Rotor solidity
Cr	Rasio <i>chord</i> ke panjang dari <i>blade</i>
AR	<i>Aspect ratio</i>
N	Banyaknya <i>blade</i>
c	Panjang <i>chord</i>
s	Area sapuan turbin
x	Posisi disepanjang <i>chord</i> dari 0 sampai c
y	Nilai setengah ketebalan dengan nilai tertentu dari x (<i>counterline</i> ke <i>surface</i>)
t	Ketebalan maksimum sebagai fraksi dari chord (100 t memberikan dua digit terakhir dalam denominasi 4-digit NACA)
TSR	<i>Tip Speed Ratio</i>
RPM	<i>Revolution per Minute</i>



DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 3.1. Data Statistik Lokasi Eksperimen	19
Tabel 3.2. Profil Airfoil NACA Simetris	21
Tabel 4.1. Tabel Hasil RPM dan <i>Torsi</i> terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut <i>Pitch</i> 10°	32
Tabel 4.2. Tabel Hasil RPM dan <i>Torsi</i> terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut <i>Pitch</i> 20°	33
Tabel 4.3. Data Rata-Rata dari Hasil RPM dan <i>Torsi</i> terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut <i>Pitch</i> 10°	34
Tabel 4.4. Data Rata-Rata dari Hasil RPM dan <i>Torsi</i> terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut <i>Pitch</i> 20°	34
Tabel 4.5. Nilai <i>Tip Speed Ratio</i> untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut <i>pitch</i> 10°	41
Tabel 4.6. Nilai <i>Tip Speed Ratio</i> untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut <i>pitch</i> 20°	42
Tabel 4.7. Nilai rata-rata TSR setiap variasi kecepatan pada sudut <i>pitch</i> 10°	42
Tabel 4.8. Nilai rata-rata TSR setiap variasi kecepatan pada sudut <i>pitch</i> 20°	43
Tabel 4.9. Nilai efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut <i>pitch</i> 10°	45
Tabel 4.10. Nilai efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut <i>pitch</i> 20°	46

Tabel 4.11	Nilai rata-rata efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut <i>pitch</i> 10°	47
Tabel 4.12.	Nilai rata-rata efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut <i>pitch</i> 20°	47
Tabel 4.13.	Bilangan Reynold yang Dihasilkan dari Variasi Kecepatan Aliran	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alam, salah satunya adalah sumber energi fosil yang sangat melimpah seperti batu bara (466,31 juta ton), minyak bumi (279,40 ribu barel), maupun gas alam (298,75 MMscf) (BPS, 2012). Akan tetapi, seiring dengan perkembangan teknologi menyebabkan kebutuhan manusia akan sumber energi juga semakin meningkat, pada tahun 2012 mencapai 174,34 GWh (BPS, 2012). Disisi lain, sumber energi fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui sehingga semakin lama persediannya juga semakin menipis. Hal ini menjadikan suatu dorongan untuk mengembangkan suatu energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. *Hydropower* merupakan salah satu solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, dimana secara geografis wilayah Indonesia memiliki perairan yang lebih luas dari pada daratannya. Turbin arus sungai merupakan salah satu jenis *hydropower* yang efektif diaplikasikan di Indonesia, karena memiliki banyak sungai dengan arus yang kuat.

Turbin arus sungai merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berbasis pada konversi energi kinetik menjadi energi listrik. Dimana pada prinsipnya arus sungai akan memutar sudu-sudu pada turbin kemudian dapat memutar generator dan menghasilkan energi listrik. Pada penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Balaka telah berkembang tentang turbin arus sungai telah sampai pada analisa mengenai efek dari *pitch angle* untuk turbin arus sungai horizontal axis. Dalam penelitian tersebut dapat dikembangkan dan diaplikasikan pada turbin arus sungai vertikal axis (Balaka, dkk., 2012). Kemudian Shao Xue-ming melakukan analisis tentang studi numerik pada propulsi dan *wake structures of Finite-Span flapping wings* dengan perbedaan aspek rasio (Shao, dkk., 2010). Beberapa efek yang ditimbulkan pada turbin arus laut dan turbin arus sungai dengan model-model yang dibuat oleh peneliti

dijelaskan oleh Khan (Khan, dkk., 2009). Selanjutnya adalah Hantoro telah melakukan investigasi tentang eksperimen pada *passive variable-pitch* vertikal aksis turbin arus laut menggunakan 3-staright bladed NACA 0018 (Hantoro, dkk., 2011). Kemudian yang terakhir adalah Calcagno telah mempresentasikan hasil dari penelitiannya tentang eksperimen dan pendekatan secara matematis untuk mengembangkan sebuah *prototype* vertikal aksis turbin arus laut dan kobold telah diaplikasikan pertama kali menggunakan 3-*straight* NACA 0015 (Calcagno, dkk., 2006).

Pada tugas akhir ini, peneliti akan mempelajari dan menganalisis sebuah turbin arus sungai vertical aksis yang memanfaatkan mekanisme *flapping wing* sebagai mekanisme *passive-pitch* yang akan dijadikan terobosan model terbaru dari perkembangan vertikal aksis turbin arus sungai tipe Darrieus menggunakan *airfoil* NACA 0018. Penelitian ini akan difokuskan pada pembelajaran dan analisis mekanisme *passive-pitch* (*flapping wing*) pada vertikal aksis turbin arus sungai menggunakan *airfoil* NACA 0018, pembelajaran dan analisis dilakukan dengan cara studi experimental untuk menganalisis fenomena fisis yang terjadi pada vertikal aksis turbin arus sungai tersebut.

1.2 Rumusan Permasalahan

Dari latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat diambil yaitu:

- Bagaimana mendesain dan merancang *flapping wing* / mekanisme *passive-pitch* yang paling optimal pada vertical aksis turbin arus sungai tipe Darrieus menggunakan *airfoil* NACA 0018.
- Bagaimana pengaruh mekanisme *flapping wing* terhadap perubahan daya keluaran turbin, RPM, torsi, dan efisiensinya.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- Pada tugas akhir ini hanya membahas tentang pemodelan *passive-pitch* pada vertikal aksis turbin arus sungai tipe Darrieus.
- Pada pemodelan *passive-pitch* pada vertikal aksis turbin arus sungai tipe Darrieus ini hanya menggunakan *airfoil* NACA 0018.
- Jenis sungai yang digunakan untuk pengambilan data adalah jenis Aliran Kanal Terbuka.
- *Aspect ratio* yang digunakan adalah 8 pada setiap *blade*.
- Jumlah *blade* yang digunakan sebanyak 3 buah dengan dua variable sudut *pitch* yaitu 10 dan 20 derajat.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini ada dua macam, yaitu:

- Mendapatkan desain dan rancang bangun *flapping wing* / mekanisme *passive-pitch* yang paling optimal pada vertical aksis turbin arus sungai tipe Darrieus menggunakan *airfoil* NACA 0018.
- Mengetahui pengaruh mekanisme *flapping wing* terhadap perubahan daya keluaran turbin, RPM, torsi, dan efisiensinya.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan penelitian Tugas Akhir ini akan disusun secara sistematis dibagi dalam beberapa bab, dengan perincian sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan.

BAB II Dasar Teori

Pada bab ini membahas secara singkat teori-teori yang mendasari pengerjaan Tugas Akhir ini, selain itu juga terdapat penjelasan tentang teori-teori tersebut.

BAB III Metodologi Penelitian

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai detail tahapan-tahapan yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah hasil eksperimen berupa kecepatan putar turbin (RPM) dan Torsi yang akan dianalisa.

BAB IV Analisa Data dan Pembahasan

Bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap hasil eksperimen yang telah dilakukan, setelah dilakukan analisis sesuai dengan kebutuhan dan tujuan yang ingin dicapai maka selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap analisis data yang telah dilakukan, pembahasan yang dilakukan disesuaikan dengan tujuan yang ingin dicapai.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh penelitian atau Tugas Akhir yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

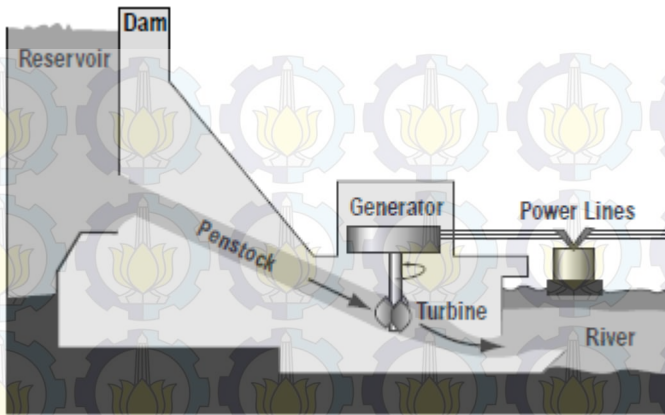
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Arus Sungai

Turbin adalah salah satu sumber energi terbarukan yang umum biasanya digunakan untuk menghasilkan sebuah produk listrik. Terdapat banyak macam turbin seperti *Steam Turbine*, *Gas Turbine*, *Wind Turbine*, dan *Hydrokinetic Turbine* (Setiaji, 2011). Yang membedakan dari turbin-turbin tersebut adalah sumber energi yang dimanfaatkannya. Sumber energi yang biasa digunakan untuk memutar sebuah turbin dalam kehidupan sehari-hari biasanya menggunakan sumber energi air atau angin, untuk uap dan gas biasanya digunakan dalam perindustrian yang membutuhkan sumber listrik yang sangat besar. Saat ini juga dilakukan pengembangan mengenai penggunaan turbin dengan memanfaatkan tenaga arus sungai untuk menghasilkan listrik. Keanekaragaman penggunaan turbin tersebut pada dasarnya menggunakan teknologi yang sama yakni *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT).

Turbin arus sungai sendiri adalah turbin yang memanfaatkan aliran arus sungai. Turbin arus sungai ini biasa disebut juga dengan *Hydropower* (Ariadi, 2011). *Hydropower* adalah sebuah energi terbarukan yang memanfaatkan pergerakan air yang bergerak mempunyai energi cukup besar sehingga dapat digunakan untuk pembangkitan. Contoh penggunaan turbin air dapat dilihat pada gambar berikut ini.

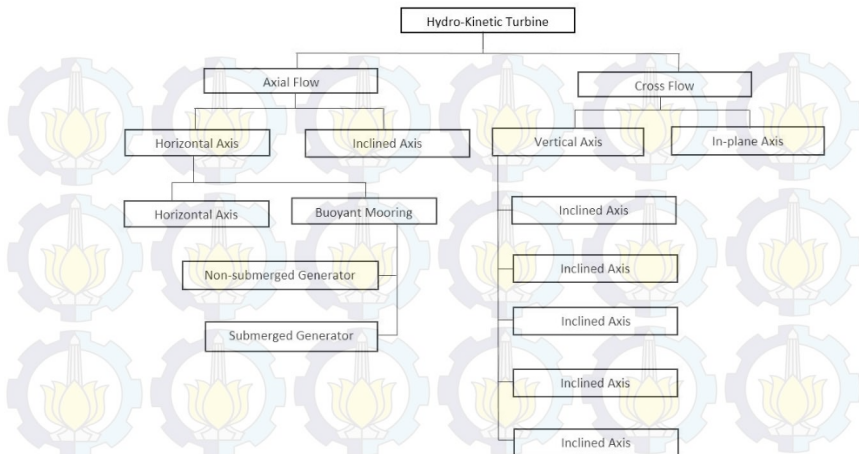


Gambar 2.1. Contoh Penggunaan Turbin Air (Khan, dkk., 2009).

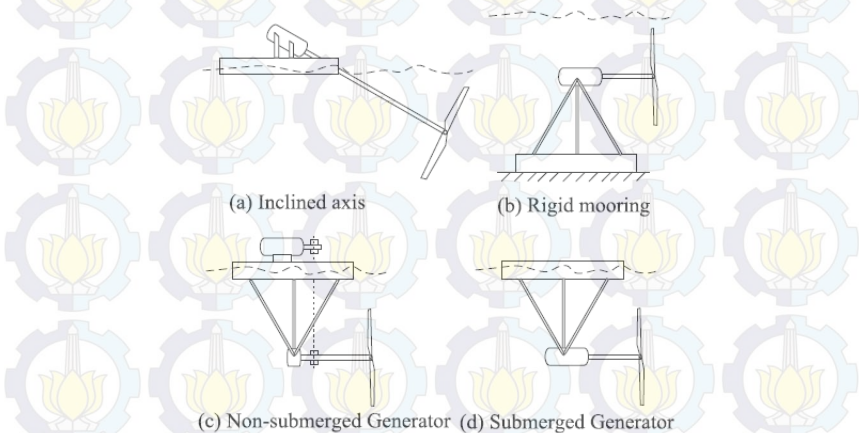
Air dari sungai dibendung dan di antara air bendungan dan penstock terdapat gate (gerbang) yang digunakan untuk mengalirkan air ke turbin. penstock adalah pipa besar yang digunakan untuk mengalirnya air ke turbin sehingga nantinya turbin akan memutar generator untuk menghasilkan listrik.

2.2 Vertical Axis Turbine Darrieus Type

Ada dua jenis bentuk turbin arus sungai maupun turbin angin yaitu *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT). Dalam penelitian kali ini turbine yang digunakan adalah bentuk VAT (*Vertical Axis Turbine*) tipe Darrieus. Model VAT sendiri terdiri dari 5 model yaitu SC-Darrieus (*Straight Blade*), H-Darrieus (*Straight Blade*), Darrieus (*Curved Blade*), Gorlov (*Helical Blade*), dan Savonius (*Straight/Skewed*). Berikut ini adalah klasifikasi model *Hydrokinetic Turbine* dari sebuah turbin :



Gambar 2.2. Klasifikasi Model *Hydrokinetic Turbine* (Khan, dkk., 2009).

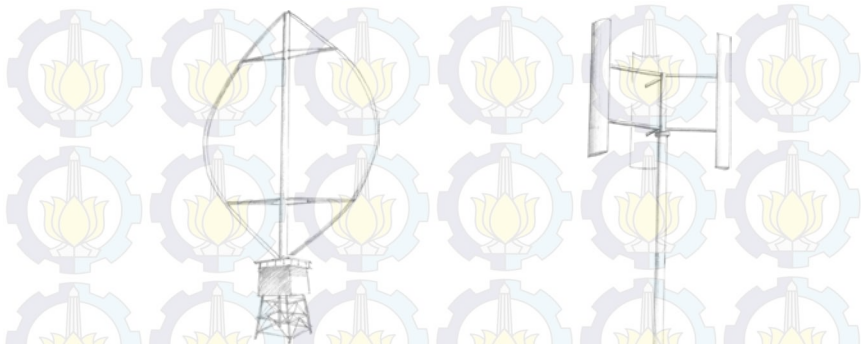


Gambar 2.3. HAT (*Horizontal Axis Turbine*) (Khan, dkk., 2009).



Gambar 2.4. VAT (*Vertical Axis Turbine*) (Vermaak, dkk., 2013).

Turbin Darrieus ini diciptakan oleh George Jean Maria Darrieus seorang insinyur dari Perancis. Darrieus ini dipatenkan pada tahun 1931 di Amerika, baik jenis “*Eggbeater (or Curved Bladed)*” dan juga “*Straight-bladed*”. Tipe Darrieus pada dasarnya gaya angkat yang digerakkan turbin angin. Turbin ini terdiri dari dua atau lebih sudu berbentuk *airfoil* yang terpasang pada poros vertikal. Angin bertiup atas kontur sudu *airfoil* yang menciptakan gaya angkat aerodinamis yang kemudian menggerakkan sudu secara bersamaan



Gambar 2.5. Model *Curved Bladed* dan Model *Straight Bladed* (Mazharul, dkk., 2006).

Dalam penelitian ini Turbin Tipe Darrieus yang digunakan adalah model Straight Blade. Sebagian besar penelitian penelitian sebelumnya menggunakan VAT dengan model blades rata-rata berjenis straight blade dengan jenis simetris seperti NACA dengan seri 4-digit contohnya NACA seri 0012, 0015, 0018. Yang mana memungkinkan untuk mempunyai self-start yang lebih besar. Ketidakmampuan self-start itu sendiri dapat dipengaruhi oleh beberapa factor seperti teknis, dan ketidaksuksesan dari penelitian itu sendiri, tetapi faktoryang paling dominan dalam mempengaruhi adalah factor aerodinamis. Dalam aplikasinya, niasanya penggunaan dari VAWT berjeni straight-bladed mempunyai nilai ekonomi yang cukup rendah.

2.3 Daya Air

Persamaan untuk menghitung tenaga air yang tersedia adalah:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.1)$$

Output daya dari turbin berubah terhadap rpm sehingga performansi rotor biasanya direpresentasikan dalam grafik koefisien performansi terhadap tip speed ratio (TSR). Dimana TSR didefinisikan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{w r}{v} \quad (2.2) \text{ (Robert, 1978)}$$

Koefisien torsi didefinisikan sebagai berikut :

$$C_t = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho v^3 A} \quad (2.3) \text{ (Birjandi, 2012)}$$

Hubungan antar dua koefisien adalah :

$$C_t = \frac{C_p}{\lambda} \quad (2.4) \text{ (Birjandi, 2012)}$$

2.4. Daya dan Efisiensi Turbin

Daya dari turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai performansi maka data yang dibutuhkan adalah putarab dari turbin atau RPM (ω) dan torsi (T). Persamaan untuk menghitung performansi turbin adalah sebagai berikut :

$$W = T \cdot \omega \quad (2.5)$$

Untuk menentukan efisisensi turbin tersebut dapat dicari dengan menggunakan model *streamtube analysis* yaitu dengan

cara membandingkan daya keluaran pada turbin dengan *kinetic energi flux*. Berikut adalah persamaan untuk mencari efisiensi dari turbin tersebut :

$$\eta = \frac{W}{KEF} \quad (2.6)$$

$$KEF = \frac{1}{2} \rho v^3 2\pi r l \quad (2.7)$$

2.5. Reynold Number

Reynold Number adalah rasio antara gaya inersia (vsp) terhadap gaya viskos (μ/L) yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. Bilangan ini digunakan untuk mengidentikasikan jenis aliran yang berbeda, misalnya laminar dan turbulen.

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.8) \text{ (Munson, dkk., 2003)}$$

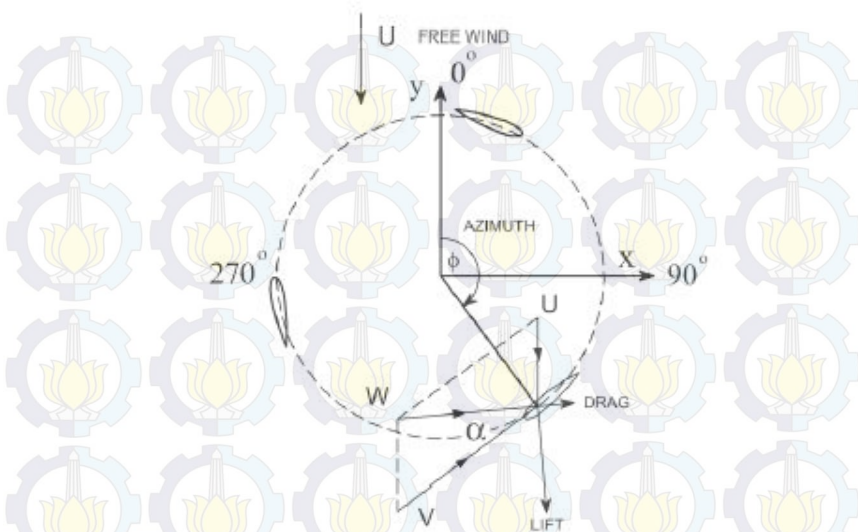
2.6. Ripple Torque

Ripple Torque atau yang biasa disebut dengan Ripple Torsi adalah fenomena dimana waktu yang bervariasi ketika ditransmisikan dalam tiap tiap komponen bergerak turbin terutama pada bagian loadnya (Robert, 1978). Efek ripple torsi pada Vertikal Axis Turbin mengakibatkan berubahnya sudut serang antara fluida dengan *blade*. Hal lain yang mempunyai pengaruh pada ripple torsi adalah arah dan sudut fluida nya, dinamika *blade*, *blade* stall dan kekenduran pada komponen gerak. Jika dibiarkan terus menerus, ripple torque ini dapat menyebabkan kelelahan pada komponennya (shaft, kopling, dan transmisi), serta berpengaruh pada power outputnya. Selain itu akibat dari ripple torsi ini yaitu dapat menyebabkan generator

menjadi kelebihan torsi, sehingga menyebabkan kehilangan beban dan kemungkinan turbin bisa menjadi lepas.

2.7. *Lift and Drag VAT*

Suatu benda padat yang berbentuk apapun itu jika ditempatkan dalam suatu aliran fluida akan menghasilkan gaya angkat dan gaya seret (Hantoro, dkk., 2011). Sebuah turbin arus sungai tipe darrieus diletakkan didalam suatu aliran fluida maka blade-blade pada turbin tersebut akan memiliki gaya angkat dan gaya trik ini dikarenakan blade pada turbin tersebut dilalui sebuah fluida. Gaya angkat tersebut dihasilkan oleh perubahan aliran disekitar blade yang berbentuk foil. Gaya angkat terjadi ketika tekanan udara dibawah sayap lebih tinggi daripada tekanan udara diatas sayap. Fase ini menyebabkan perbedaan tekanan udara yang kemudian mengalir dari permukaan bawah sayap, sekitar ujung sayap menuju permukaan atas sayap. Turbin Darrieus, menggunakan aerofoil - bagian blade untuk menghasilkan daya angkat . Turbin ini mampu mengkonversi gaya angkat ini ke torsi positif ketika blade beprgerak cukup cepat dibandingkan dengan arus bebas stream. Seperti blade berputar, akan terjadi aliran relatif berubah, yang merupakan penjumlahan vektor kecepatan aliran lokal dan kecepatan blade itu sendiri. Kedua sudut datang aliran relatif ini dan besarnya kecepatannya bervariasi dengan posisi orbit pisau, disebut azimuth. Gaya aerodinamis total pada umumnya terdiri dari dua komponen, yakni gaya angkat dan gaya seret. Didefinisikan bahwa komponen yang sejajar terhadap aliran adalah gaya tarik, sedangkan komponen yang tegak lurus terhadap aliran adalah gaya angkat.



Gambar 2.6. Gaya *Lift and Drag* pada turbin vertikal aksis tipe Darrieus (Hantoro, dkk., 2011)

2.8. Aspect Ratio

Aspect Ratio adalah perbandingan antara tinggi turbin dan diameter turbin (Xue-ming, dkk., 2009). Dalam penelitian ini aspek rasio sangat diperhatikan dalam ukuran blade sebuah turbin. Dalam blade turbin aspek rasio adalah perbandingan antar luas sebuah blade dengan panjang sebuah blade. Sebuah aspect ratio yang tinggi menunjukkan sayap yang panjang dan memiliki luas sayap yang sempit, sedangkan aspect ratio yang rendah menunjukkan sayap yang pendek dengan luasan sayap yang besar. Adapun aspek rasio yang digunakan pada blade dan perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{NcI}{s} \quad (2.9)$$

$$C_r = \frac{c}{R} \quad (2.10)$$

$$AR = \frac{l}{c} \quad (2.11)$$

2.9. Airfoil NACA

Airfoil adalah sebuah bentuk sayap atau blade atau pisau (baling-baling sebuah turbin atau rotor). *Airfoil* sendiri yang terdapat pada sebuah turbin atau rotor apabila dikenai sebuah aliran fluida akan menimbulkan gaya aerodinamis. Komponen gaya tegak lurus terhadap arah gerakan disebut gaya angkat (*Lift*). Komponen yang sejajar arah gerak disebut gaya tarik (*Drag*). *Airfoil* ini umumnya digunakan di sayap pesawat, namun aplikasi dari *Airfoil* ini dapat digunakan pada sebuah blade turbin atau rotor. Foil yang dirancang untuk digunakan pada sebuah turbin air dan air tersebut sebagai fluida kerjanya disebut *Hydrofoil*.

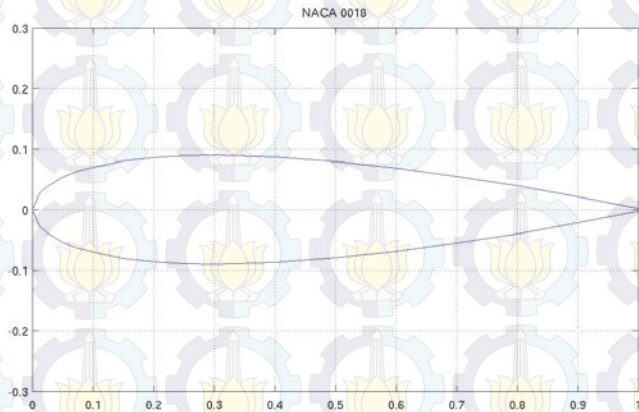
NACA *airfoil* adalah bentuk sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh Komite Penasihat Nasional untuk Aeronautika (NACA). Bentuk *airfoil* dijelaskan menggunakan serangkaian digit mengikuti kata NACA. Parameter dalam kode numerik dapat dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan penampang *airfoil* dan menghitung sifat-sifat dari *airfoil* itu sendiri.

NACA 4 – digit mendefinisikan profil sebagai berikut, satu digit awal merepresentasikan maksimum *camber* sebagai persentase dari panjang *chord*. Digit kedua menggambarkan jarak maksimum *camber* dari *airfoil leading edge* dalam puluhan persentase dari *chord*. Dua digit terakhir menggambarkan persentase ketebalan maksimum dari *chord*. Sebagai contoh, *airfoil* NACA 4415 asimetris memiliki maksimum *camber* 4% terletak 40% (0,4 chords) dari *leading edge* dengan ketebalan maksimum sebesar 15% dari *chord*. NACA 0015 simetris dengan 00 menunjukkan bahwa *airfoil* ini tidak memiliki *camber*. Angka 15 menunjukkan besarnya persentase ketebalan dari panjang *chord*.

2.9.1. Persamaan NACA

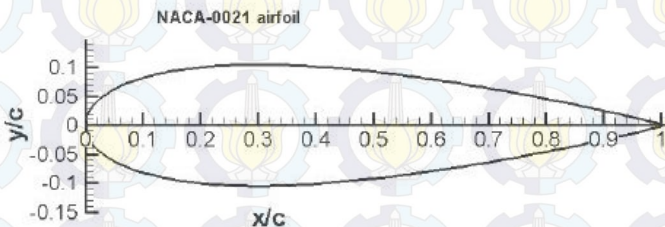
Karakteristik utama dari NACA simetris yaitu dua digit pertama adalah 0. Persamaan untuk bentuk foil NACA 00xx, dengan “xx” diganti dengan presentase ketebalan untuk chord, adalah (Birjandi, 2012) :

$$y = \frac{t}{0.2} c \left[0.2969 \sqrt{\frac{x}{c}} - 0.1260 \left(\frac{x}{c}\right) - 0.3516 \left(\frac{x}{c}\right)^2 + 0.2843 \left(\frac{x}{c}\right)^3 - 0.1015 \left(\frac{x}{c}\right)^4 \right] \quad (2.12)$$



Sumber : forum.persianrc.com

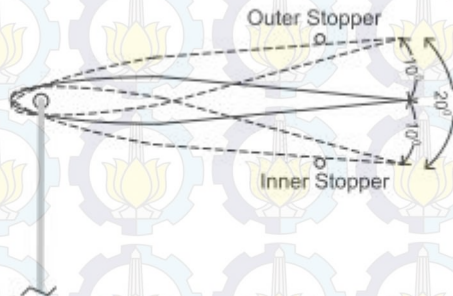
Gambar 2.7. Profil NACA 0018



Gambar 2.8. Profil NACA 0021 (Birjandi, 2012)

2.10. *Passive Pitch*

Pada dasarnya, mekanisme *passive-pitch* merupakan suatu mekanisme pengendalian atau kontrol yang digunakan untuk mengendalikan besarnya sudut serang atau *angle of attack* yang terjadi pada *airfoil* supaya turbin tersebut dapat bergerak secara bebas dengan sudut serang yang dibatasi agar turbin tersebut dapat melakukan start up yang cepat dengan kecepatan aliran yang relatif rendah. Dalam mekanisme *passive pitch* ini berguna untuk mencegah *angle of attack* yang terlalu tinggi yang akan mempengaruhi start up sebuah turbin. *Angle of attack* paling bagus untuk sebuah *airfoil* agar mendapatkan start up dari sebuah turbin yang bagus adalah maksimal 10° . Berikut ini adalah salah satu contoh mekanisme *passive-pitch* pada vertikal aksis turbin.

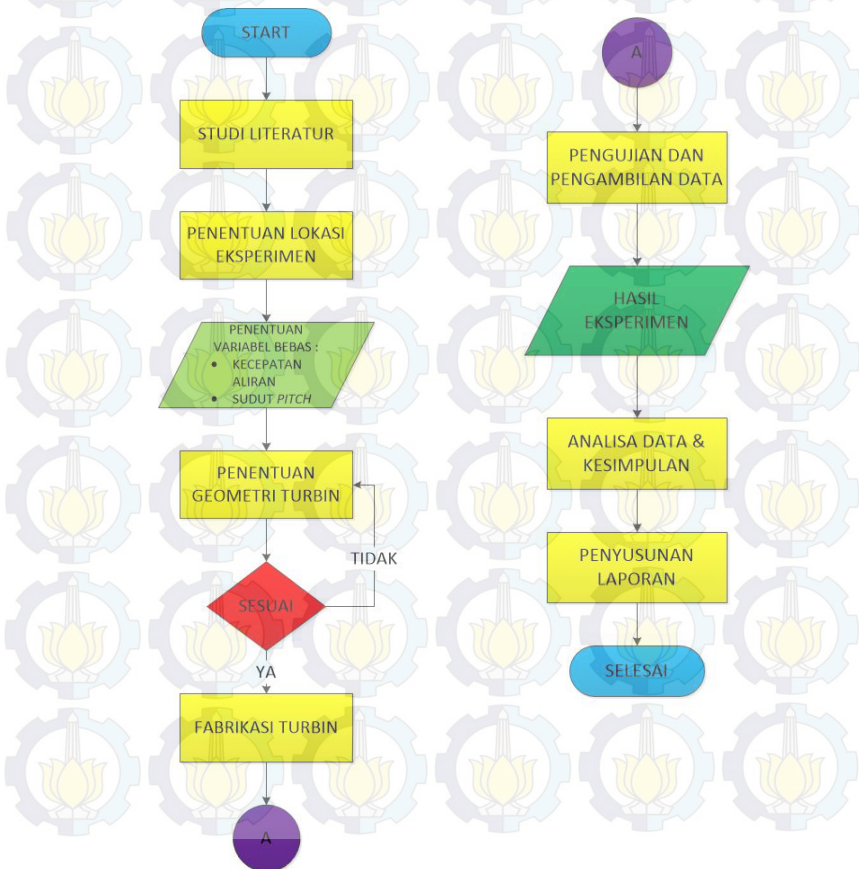


Gambar 2.9. Mekanisme *Passive Pitch* (Hantoro, dkk., 2011)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan maka diperlukan sebuah metodologi penelitian dalam bentuk *flowchart* yang merupakan langkah-langkah penyelesaian monitoring hasil penelitian yang disusun secara logis dan sistematis. Adapun tahapan tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Skema diagram alir penelitian Tugas Akhir

Eksperimen ini diawali dengan studi literatur sebagai referensi untuk mengawali penelitian ini, sehingga bisa diketahui apa yang harus dilakukan dan diteliti untuk penelitian ini. Kemudian menentukan lokasi eksperimen yang akan digunakan untuk pengujian alat dan pengambilan alat. Penentuan lokasi eksperimen ini juga berguna untuk menentukan dimensi ukuran dari turbinnya sendiri. Setelah penentuan lokasi eksperimen, dilakukan penentuan variabel bebas yang akan digunakan untuk pengambilan data. Variabel bebas tersebut adalah kecepatan fluida atau kecepatan aliran arus sungai yang akan menjadi variasi untuk pengambilan data. Variasi kecepatan arus sungai yang digunakan ada 5 variasi yaitu 0,67 m/s; 0,72 m/s; 0,806 m/s; 0,98 m/s; dan 1,15 m/s. Variabel bebas yang digunakan selanjutnya adalah variasi sudut *pitch*, variasi yang digunakan sebanyak 2 variasi yaitu sudut *pitch* 10° dan 20°. Variasi ini digunakan untuk mengetahui sudut *pitch* berapa yang mempunyai nilai kecepatan putar turbin (RPM) dan nilai torsi yang lebih baik dan mempunyai efisiensi dan performansi yang lebih baik. Kemudian dilakukan penentuan geometri turbin yang akan digunakan untuk eksperimen ini. Geometri yang digunakan harus sesuai dengan dimensi ukuran sungai. Jika geometri turbin ini sudah sesuai dengan ukuran dimensi sungai maka akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya, namun jika geometri turbin belum sesuai dengan dimensi turbin maka dilakukan kembali untuk penentuan geometri turbin. Fabrikasi turbin akan dilakukan setelah penentuan geometri turbin sudah dilaksanakan. Sehingga kita dapat mengetahui ukuran geometri berapa yang dibutuhkan untuk fabrikasi turbin. Setelah fabrikasi selesai dilakukan dan turbin sudah jadi maka dilakukan pengujian alat dan pengambilan data di lokasi eksperimen. Dengan menggunakan beberapa variasi diatas maka setiap variasi kecepatan dan variasi sudut *pitch* diambil data RPM dan torsi nya sebanyak 10 kali dan kemudian diambil data rata-rata nya. Kemudian didapatkan hasil eksperimen dan hasil tersebut diolah dan dianalisa data nya. Setelah dianalisa datanya, data tersebut diambil kesimpulan bagaimana karakteristik dari

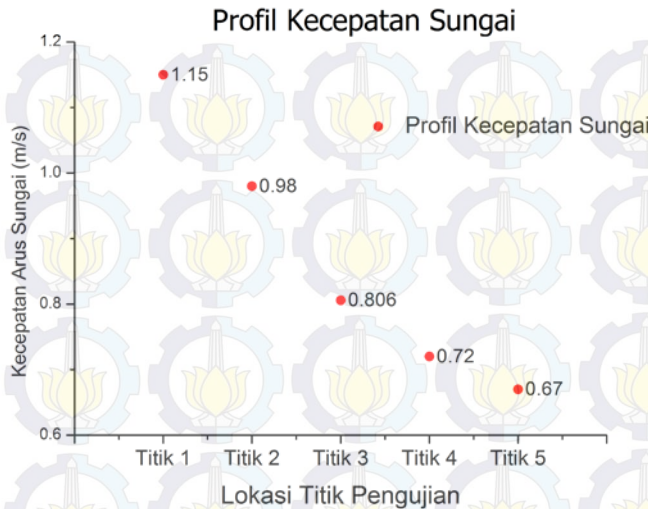
turbin tersebut. Penyusunan laporan adalah tahap terakhir setelah analisa data dan kesimpulan diperoleh.

3.2 Lokasi Eksperimen

Lokasi Eksperimen turbin arus sungai ini bertempat di daerah Umbulan, Pasuruan, Jawa Timur. Di tempat ini terdapat sungai yang memiliki karakteristik yang sesuai dan dibutuhkan untuk eksperimen dan penelitian ini. Pada sungai tersebut memiliki perbedaan kecepatan aliran pada setiap titik tertentu pada sungai tersebut. Kecepatan aliran tersebut akan digunakan untuk variasi dalam uji coba turbin vertical aksis arus sungai tersebut dalam upaya perbandingan kondisi turbin. Berikut adalah profil kecepatan arus sungai dalam bentuk tabel :

Tabel 3.1. Data Statistik Lokasi Eksperimen

No.	Lokasi	Lebar permukaan air (m)	Kedalaman air (m)	Jarak pondasi sungai ke permukaan air (m)	Kecepatan aliran permukaan air (m/s)
1.	Umbulan 1	1,02	1,46	0,09	1,15
2.	Umbulan 2	1,02	1,46	0,09	0,98
3.	Umbulan 3	1,02	1,64	0,20	0,806
4.	Umbulan 4	1,02	1,64	0,20	0,72
5.	Umbulan 5	1,02	1,64	0,20	0,67



Gambar 3.2. Grafik Profil kecepatan aliran arus sungai pada tiap titik.

3.3 Variabel Bebas

Variabel bebas disini yang dimaksud adalah variable yang akan digunakan untuk menganalisa turbin vertical aksis arus sungai tersebut. Variabel yang digunakan dalam eksperimen ini adalah variasi kecepatan fluida yang melalui turbin tersebut agar bisa kita ketahui karakteristik dari turbin tersebut dan sudut pitch blade yang akan menjadi variasi untuk mengetahui perbedaan yang terjadi pada turbin tersebut. Seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, variasi kecepatan aliran yang digunakan untuk mengetahui karakteristik turbin tersebut mulai dari yang paling tinggi hingga paling rendah yaitu 1.15 m/s, 0.98 m/s, 0.806 m/s, 0.72 m/s, dan 0.67 m/s. Sedangkan untuk variasi sudut pitch pada blade yang digunakan yaitu 10° dan 20° . Variasi variabel bebas yang digunakan diatas adalah atas referensi pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ali Ridho, dkk, bahwa sudut pitch yang paling optimal adalah 10° . Untuk sudut

pitch 20° digunakan untuk hasil pembandingan nantinya dan untuk analisa lebih lanjut.

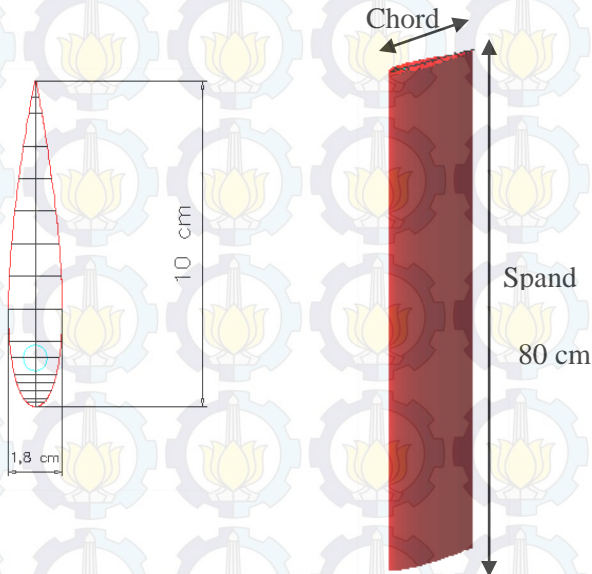
3.4 Geometri Turbin

Pada perancangan geometri turbin Darieus ini menggunakan blade simetris NACA 0018. Profil koordinat NACA 0018 sesuai dengan persamaan (2.12). Berikut adalah profil airfoil NACA dalam bentuk tabel :

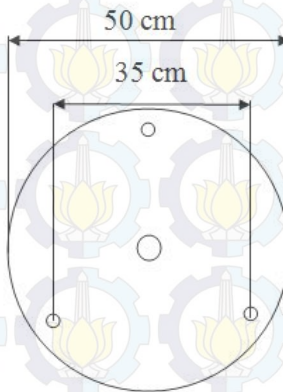
Tabel 3.2. Profil Airfoil NACA Simetris (<http://www.boat-links.com/proafaq.html>).

Distance From Nose	NACA 0012	NACA 0015	NACA 0018	NACA 0021	NACA 0025
1.25	1.89	2.37	2.84	3.31	3.95
2.5	2.62	3.27	3.92	4.58	5.45
5	3.56	4.44	5.33	6.22	7.41
7.5	4.2	5.25	6.3	7.35	8.75
10	4.68	5.85	7.02	8.2	9.76
15	5.34	6.68	8.02	9.35	11.14
20	5.74	7.17	8.61	10.04	11.95
30	6	7.5	9	10.5	12.5
40	5.8	7.25	8.7	10.16	12.09
50	5.29	6.62	7.94	9.26	11.03
60	4.56	5.7	6.84	7.99	9.51
70	3.66	4.58	5.5	6.41	7.63
80	2.62	3.28	3.94	4.59	5.46
90	1.45	1.81	2.17	2.53	3.02
95	0.81	1.01	1.21	1.41	1.68
100	0.13	0.16	0.19	0.22	0.26

Dengan mengacu pada Tabel 3.2 maka dimensi airfoil dengan panjang spand 80 cm digambarkan pada gambar berikut:

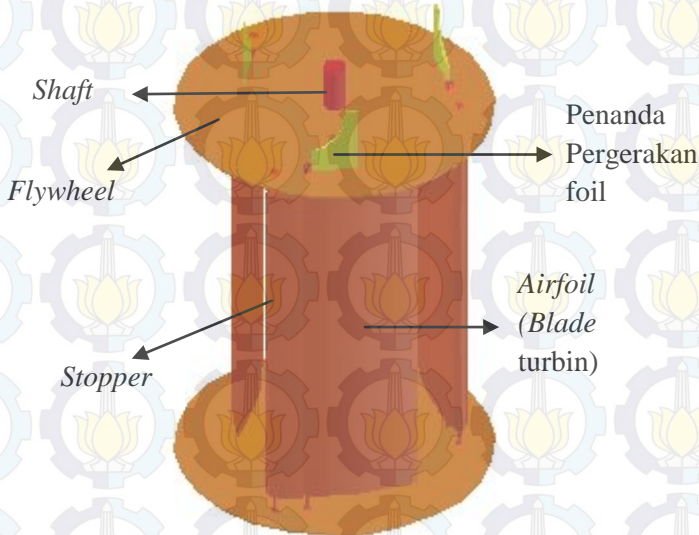


Gambar 3.3. Profil koordinat *airfoil* NACA 0018.



Gambar 3.4. Desain piringan (*flywheel*) turbin.

Pada gambar 3.4 adalah desain dari piringan turbin atau *flywheel* yang akan digunakan untuk turbin ini. Piringan tersebut mempunyai ketebalan 2mm untuk piringan atas dan bawah, sehingga sudah bias dikatakan kuat untuk menahan *blade*.



Gambar 3.5. *Prototype* turbin secara 3D dan bagian-bagiannya.

Gambar 3.5 adalah desain dari *prototype* turbin yang akan digunakan untuk penelitian ini. Pada gambar tersebut digambarkan bagian-bagian terpenting dari turbin itu sendiri.

3.5 Fabrikasi Turbin

Pada tahap fabrikasi turbin ini meliputi beberapa kegiatan yaitu perakitan alat untuk turbinnya itu sendiri dan melakukan pengumpulan dan penggabungan komponen-komponen pelengkap untuk turbin tersebut. Beberapa komponen yang dibutuhkan adalah pembuatan airfoil untuk blade turbin tersebut,

lalu pembuatan stopper untuk blade turbin, kemudian kerangka turbin yang sudah ada, kerangka rumah turbin tersebut adalah kerangka yang sudah dibuat pada penelitian sebelumnya. Dan komponen selanjutnya adalah kunci pas yang akan diletakkan pada ujung atas shaft, kunci pas tersebut digunakan untuk peletakan alat ukur yang berupa *Tachometer* dan *Torque Wrench* (alat ukur torsi). Dari semua komponen-komponen diatas diperlukan dirakit dan digabungkan menjadi satu agar tercipta alat yang baik sehingga memiliki ketahanan yang baik pada saat dilakukan pengujian dan pengambilan data di lokasi pengujian dan pengambilan data.

Pada tahap fabrikasi ini yang utama dilakukan adalah pembuatan airfoil untuk blade turbin tersebut. Dibuat sebanyak tiga buah airfoil untuk blade turbin, ini dikarenakan pada penelitian sebelumnya turbin yang menggunakan 4 airfoil untuk blade sangat buruk *self start* nya. Airfoil ini terbuat dari serat fiber atau biasa disebut dengan *Mat* (terbuat dari bahan polyester, berguna sebagai media lapisan permukaan sebuah plat fiber), fiber, minyak resin, dan besi untuk penguat blade turbin. Cetakan airfoil sendiri adalah daimbil dari bentuk airfoil pada penelitian sebelumnya. Airfoil ini menggunakan desain airfoil NACA 0018. Setelah pembuatan foil sudah dilakukan, maka yang dilakukan selanjutnya adalah perakitan atau pengelasan piringan turbin (*flywheel*), shaft, dan kunci pas yang akan dipasang pada ujung shaft. Kemudian dari komponen *flywheel*, shaft, dan kunci pas sudah dirakit lalu komponen-komponen tadi yang sudah jadi satu dipasang pada kerangka turbin yang sudah ada .

Kemudian yang paling penting lainnya adalah pembuatan stopper pada blade turbin. Stopper ini berbentuk seperti huruf U, yang mempunyai panjang setengah dari chord airfoil yaitu 5 cm dan mempunyai kedalaman lengkungan sepanjang 2 cm. Stopper ini dibuat dari bahan yang sama seperti pembuatan airfoil. Stopper ini didesain agar blade turbin tersebut tidak melebihi sudut *pitch* yang telah ditentukan yaitu 10° dan 20° . Untuk sudut 10° perlu ditambah plat pada blade tersebut untuk menahan blade tersebut tidak bergerak lebih dari 10° .



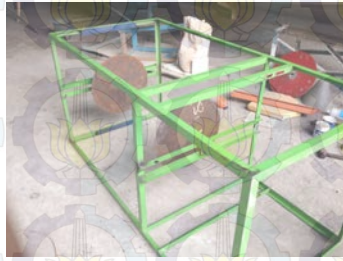
Gambar 3.6. Pembuatan awal *blade* turbin menggunakan desain *airfoil* NACA 0018.



Gambar 3.7. Penggabungan *airfoil* yang sudah jadi dengan *stopper*.

Pada gambar 3.6 adalah proses pembuatan *blade* turbin. Pembuatan *blade* ini adalah bagian terpenting yang harus dibuat karena performansi turbin akan sangat dipengaruhi oleh desain dari *blade* turbin. Untuk dan gambar 3.7 adalh penggabungan

blade yang sudah jadi dengan *stopper* atau penahan *blade* sehingga *blade* tersebut yang dinamakan *Flapping Wing*.



Gambar 3.8. Pemasangan piringan (*flywheel*) dan *shaft* yang sudah jadi satu pada kerangka rumah turbin.

Penggabungan antara kerangka turbin yang sudah ada dengan piringan dan *shaft* yang sudah menjadi satu dilakukan pertama kali sebelum penggabungan bagian-bagian terpenting lainnya ini ditunjukkan pada gambar 3.8.



(a)



(b)

Gambar 3.9. (a) *Stopper* untuk sudut *pitch* 10°
(b) *Stopper* untuk sudut *pitch* 20°

Desain modifikasi untuk *stopper* yang ditunjukkan pada gambar 3.9 adalah salah satu bagian terpenting pula yang akan dibuat. Untuk modifikasi sudut *pitch* 20° hanya dengan menambahkan plat berbentuk U yang diletakkan diantara *blade* dan *stopper*.

Pembuatan penunjuk untuk pergerakan *blade* juga dilakukan agar *blade* yang berputar didalam air bisa terlihat dengan melihat penunjuk yang diletakkan diatas piringan (*flywheel*). Penunjuk *blade* ini dibuat dari bahan plat besi setebal 1,5 cm ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Penunjuk Pergerakan *Blade*.



Gambar 3.11. Pemasangan *blade*, *stopper*, dan penunjuk *blade* turbin pada *flywheel* turbin.

Pada gambar 3.11 adalah betuk turbin yang sudah jadi dan siap untuk dilakukan pengujian alat. Untuk proses fabrikasi turbin air ini secara lengkap dapat dilihat pada halaman lampiran.

3.6 Eksperimen

Pada tahap eksperimen ini dilakukan pengambilan data berupa RPM dan torsi. Mengambil data RPM menggunakan alat ukur *Tachometer* sedangkan untuk mengambil data torsi pada turbin menggunakan *Torque Wrench*. Data RPM dan torsi itu sendiri diambil dari masing-masing variasi pitch yaitu sebesar 10° dan 20° . Dalam pengujian dan pengambilan data dilakukan pada tiap-tiap variasi kecepatan aliran sungai pada titik tertentu sebesar 0,67 s/d 1,15 m/s. Mekanisme pengambilan data menggunakan alat ukur *Tachometer* dengan mencapkan pada ujung shaft yg sudah dipasang kunci pas. Sedangkan untuk pengambilan data torsi menggunakan *Torque Wrench* dengan mencapkan juga pada kunci pas yang terletak diujung shaft, *Torque Wrench* tersebut ditahan pada saat turbin berputar sehingga turbin juga berhenti berputar dan disitu kita dapat mengetahui nilai torsi dari turbin tersebut. Data diambil sebanyak sepuluh data atau sepuluh kali setiap variasi kecepatan dan setiap sudut pitch nya. Jadi total ada 100 data yang didapat. Selain itu pada kerangka turbin juga diberikan penyangga dari bambu untuk mengangkat dan menahan kerangka turbin agar tidak bergerak pada saat pengujian dan pengambilan data. Pada Gambar 3.13 dan 3.14 menggambarkan proses pengujian dan pengambilan data turbin di lokasi eksperimen.



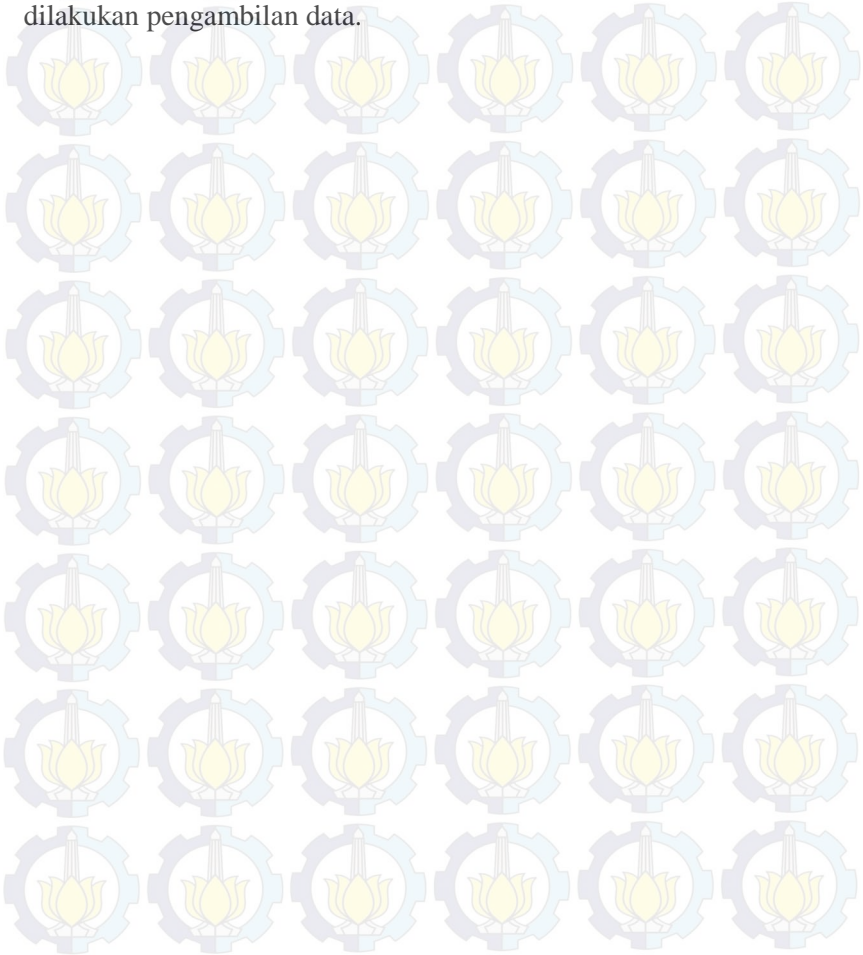
Gambar 3.12. Mekanisme pemasukan turbin ke dalam air.

Pada gambar 3.13 adalah mekanisme pemasukan turbin ke dalam air dan mekanisme pengujian turbin. Pada gambar tersebut sebelum turbin dimasukkan ke dalam air dan diuji, turbin tersebut di cek untuk kelengkapan dari bagian-bagian turbin nya. Apabila sudah lengkap maka turbin siap untuk diuji. Turbin dimasukkan ke dalam air terlebih dahulu diberi penyangga 2 buah bambu agar turbin mudah diangkat dan dimasukkan kedalam air.



Gambar 3.13. Mekanisme penempatan alat ukur *Tachometer* dan *Torque wrench*.

Ditunjukkan pada gambar 3.14 adalah mekanisme penempatan alat ukur dan cara pengambilan data. Alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data diletakkan pada ujung *shaft* bagian atas yang sudah diberi tempat khusus yaitu kunci pas agar alat ukur yang diletakkan tidak mudah lepas dan mudah untuk dilakukan pengambilan data.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Eksperimen

Data dari hasil eksperimen yang diambil yaitu berupa data putaran turbin selama satu menit atau yang bisa disebut *Revolution per Minute (RPM)* dan gaya yang menyebabkan turbin tersebut berputar (*Torsi*). Pada tahapan eksperimen ini dilakukan pada lima titik lokasi yang terletak pada satu aliran sungai, lima titik tersebut memiliki kecepatan aliran air yang berbeda-beda yaitu mulai dari 0,67 m/s; 0,72 m/s; 0,806 m/s; 0,98 m/s; dan 1,15 m/s. Kemudian dari semua kecepatan aliran tersebut digunakan untuk beberapa variasi sudut pitch yaitu 10° dan 20° . Dengan beberapa perbedaan karakteristik kecepatan aliran sungai dan sudut pitch tersebut, maka akan didapatkan kecepatan putar turbin (*RPM*) dan torsi yang berbeda.

Pada Tabel 4.1 ditampilkan data yang diambil dari 5 titik di lokasi eksperimen dengan kecepatan arus sungai yang berbeda-beda dan menggunakan sudut pitch 10° . Kemudian untuk tabel 4.3 ditampilkan data yang diambil dari 5 titik di lokasi eksperimen dengan kecepatan arus sungai yang berbeda-beda pula namun dengan menggunakan sudut pitch 20° . Dari tabel tersebut didapatkan hasil *RPM* dan torsi dari masing-masing variasi kecepatan aliran arus sungai, kemudian dari tabel 4.3 dan tabel 4.4 dibuat rata-rata dari masing-masing *RPM* dan torsi untuk setiap variasi kecepatan aliran arus sungai. Dari tabel 4.3 dan tabel 4.4 yaitu data rata-rata dari masing-masing *RPM* dan torsi untuk setiap variasi kecepatan aliran arus sungai dapat ditarik grafik untuk mengetahui karakteristik dari setiap variasi kecepatan aliran arus sungai tersebut .

Tabel 4.1. Tabel Hasil RPM dan *Torsi* terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut *Pitch* 10°.

No.	Kecepatan									
	0,67 m/s		0,72 m/s		0,806 m/s		0,98 m/s		1,15 m/s	
	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM
1.	10.8	38.9	10.3	38.3	12.2	50.2	13.3	50.8	14.2	50.28
2.	10.3	38.7	10.3	40.3	12.3	52.1	13.3	49.7	13.8	51.97
3.	11.3	36.9	11.7	41.3	13.2	46.5	12.3	48.5	13.9	55.19
4.	10.2	37.8	13.7	45	13.7	45.7	13.3	49.7	14.2	52.81
5.	11.9	37.2	10.8	47.2	11.8	45.8	14.4	50.3	14.1	54.16
6.	11.8	37.2	11.5	44.3	11.5	45.7	13.7	47.4	13.7	54.16
7.	11.9	38.5	10.8	44	12.9	45.8	13.9	46.1	13.8	53.02
8.	10.9	38.4	11.9	48	13.1	47.2	13.3	48.5	13.8	53.04
9.	10.3	39.5	10.3	44.3	13.1	45.7	14.8	47.1	14.3	54.74
10.	11.9	38.7	11.3	45.2	12.7	46.2	13.7	40.8	14.5	53.23

Tabel 4.2. Tabel Hasil RPM dan *Torsi* terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut *Pitch* 20°.

No.	Kecepatan									
	0,67 m/s		0,72 m/s		0,806 m/s		0,98 m/s		1,15 m/s	
	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM	Torsi (N.m)	RPM
1.	11.8	72.4	12.7	72.1	14.2	73.1	16.7	74.1	17.8	78.3
2.	11.8	73.1	13.2	73.2	14.6	72.4	16.2	74.3	17.3	78.2
3.	10.8	70.9	13.2	71	15.1	73.2	15.3	75.4	16.4	77.3
4.	10.3	71.6	14.1	70.5	13.8	74.1	14.7	72.3	17.9	77.9
5.	10.5	74.3	12.1	72.3	14.8	70.2	15.2	71.1	18	76.5
6.	11.2	72.5	11.5	72.8	14.2	70.2	14.5	73.1	18.6	77.1
7.	10.8	70.5	13.6	70.4	14.3	73.1	17.2	73.4	15.8	75.2
8.	11.8	70.8	11.7	70.5	14.1	73.4	15.8	70.1	17.5	78.9
9.	11.7	71.4	11.8	71.4	14.2	72.8	13.9	70.9	16.9	76.4
10.	11.9	73.8	12	73.5	15.2	72.6	15.3	72.6	17.9	77.6

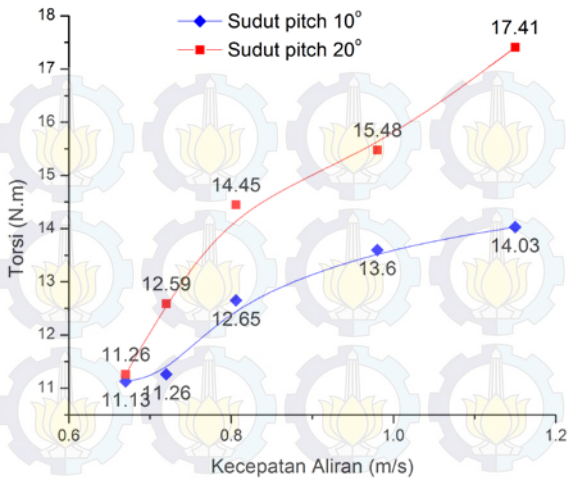
Tabel 4.3. Data Rata-Rata dari Hasil RPM dan *Torsi* terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut *Pitch* 10°.

Kecepatan (m/s)	Rata-Rata RPM	Rata-Rata Torsi (N.m)
0,67	38,18	11,13
0,72	43,79	11,26
0,806	47,09	12,65
0,98	47,89	13,6
1,15	53,26	14,03

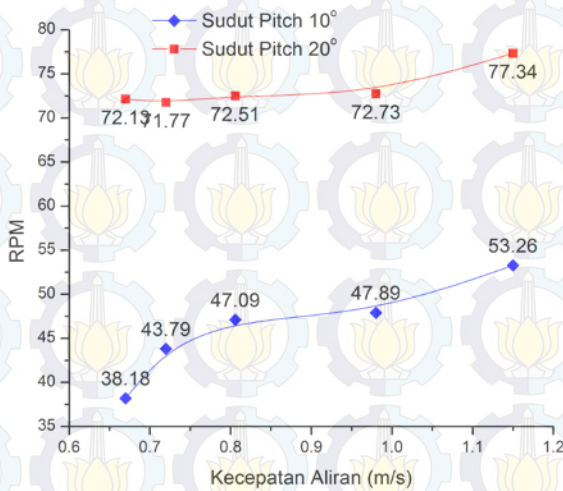
Tabel 4.4. Data Rata-Rata dari Hasil RPM dan *Torsi* terhadap Variasi Kecepatan Arus Sungai untuk Variasi Sudut *Pitch* 20°.

Kecepatan (m/s)	Rata-Rata RPM	Rata-Rata Torsi (N.m)
0,67	72,13	11,26
0,72	71,77	12,59
0,806	72,51	14,45
0,98	72,73	15,48
1,15	77,34	17,41

Dari data pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 dibuat grafik antara rata-rata kecepatan putar turbin (*RPM*) untuk setiap variasi sudut *pitch* dengan kecepatan aliran dan rata-rata torsi untuk setiap variasi sudut *pitch* dan kecepatan aliran arus sungai maka dihasilkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1. Grafik perbandingan rata-rata dari Hasil Torsi untuk setiap variasi sudut *pitch* terhadap variasi kecepatan arus sungai.



Gambar 4.2. Grafik perbandingan rata-rata dari Hasil RPM untuk setiap variasi sudut *pitch* terhadap variasi kecepatan arus sungai.

Untuk sudut pitch 10° didapatkan nilai rata-rata RPM dan Torsi maksimum yaitu diperoleh pada kecepatan aliran 1,15 m/s, yaitu sebesar 53,26 rpm dan 14,03 N.m. Sedangkan nilai rata-rata RPM dan Torsi minimum dengan sudut pitch 10° diperoleh pada kecepatan aliran 0,67 m/s, yaitu sebesar 38,18 rpm dan 11,13 N.m.

Untuk sudut pitch 20° data *RPM* dan Torsi hasil eksperimen pada masing-masing kecepatan ditunjukkan Tabel 4.3, sedangkan hasil rata-rata pengukuran ditunjukkan oleh Tabel 4.4. Gambar 4.1 merupakan grafik perbandingan rata-rata hasil pengukuran torsi untuk setiap variasi sudut *pitch*. Sedangkan gambar 4.2 merupakan grafik perbandingan hubungan antara kecepatan aliran dan rata-rata hasil pengukuran RPM. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa semakin tinggi kecepatan aliran maka RPM dan torsi yang terukur juga semakin besar. Dimana nilai rata-rata RPM dan Torsi maksimum dengan sudut pitch 20° diperoleh pada kecepatan aliran 1,15 m/s, yaitu sebesar 77,34 rpm dan 17,41 N.m. Sedangkan nilai rata-rata RPM minimum dengan sudut pitch 20° diperoleh pada kecepatan aliran 0,72 m/s, yaitu sebesar 71,77 rpm dan nilai rata-rata Torsi minimum nya diperoleh pada kecepatan 0,67 m/s yaitu sebesar 11,26 N.m. Dari kedua grafik diatas yaitu pada grafik 4.1 dan 4.2 dapat dilihat dari kedua sudut pitch tersebut data yang dihasilkan pola linieritas yang cukup bagus, ini mengindikasikan bahwa dari kedua grafik tersebut semakin tinggi kecepatan aliran sungai maka semakin besar nilai RPM dan torsi yang dihasilkan, ini dapat dibuktikan dengan persamaan kecepatan sudut yaitu kecepatan aliran (v) berbanding lurus dengan kecepatan putar turbinnya atau RPM (ω).

4.2 Efek Perubahan Kecepatan Aliran dan Sudut *Pitch*

Dari data hasil eksperimen diatas menunjukkan bahwa ada perubahan signifikan yang dihasilkan oleh setiap variasi data. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa untuk setiap kenaikan kecepatan aliran arus sungai maka RPM dan torsi yang dihasilkan pun nilai nya mengalami kenaikan. Kemudian untuk setiap variasi

kecepatan sudut pitch juga sangat mempengaruhi besarnya nilai RPM dan torsi yang dihasilkan, semakin besar sudut pitch pada eksperimen diatas maka semakin besar pula nilai RPM dan torsi yang dihasilkan dari turbin tersebut. Makan disini dapat diambil kesimpulan bahwa setiap perubahan variasi kecepatan aliran arus sungai dan variasi sudut pitch yang digunakan akan mempengaruhi besar kecil nilai dari kecepatan putar turbin tersebut (RPM) dan gaya torsi yang dihasilkan. Untuk lebih detail apakah pengaruh dari efek perubahan kecepatan aliran dan efek perubahan sudut pitch nya akahn dibahas pada sub bab 4.2.1 dan sub bab 4.2.2.

4.2.1 Efek Perubahan Kecepatan Aliran

Pada tugas akhir ini yaitu eksperimen turbin vertical aksis untuk arus sungai akan menggunakan variasi kecepatan arus sungai. Eksperimen ini menggunakan 5 variasi kecepatan arus sungai yaitu 0,67 m/s; 0,72 m/s; 0,806 m/s; 0,98 m/s; dan 1,15 m/s. Dalam eksperimen ini kecepatan arus sungai adalah variabel utama dan sangat penting, karena kecepatan arus sungai ini akan sangat mempengaruhi kecepatan putar dari turbin itu sendiri dan sedangkan untuk mengubah kecepatan arus sungai di lokasi eksperimen sangat sulit, sehingga kita mengambil beberapa titik di lokasi eksperimen untuk memberikan variasi perbedaan kecepatan arus sungai nya. Ketika kecepatan arus sungai yang sanagt cepat mengenai turbin, secara langsung kecepatang arus sungai tersebut memberikan gaya dorong dengan nilai yang besar pula sehingga turbin berputar dengan menghasilkan RPM yang nilainya besar pula. Kemudian sebaliknya jika kecepatan arus sungainya kecil atau rendah maka gaya yang diberikan pada turbin sangat kecil pula sehingga menghasilkan nilai RPM yang kecil pula.

Selain kecepatan putaran turbin yang dipengaruhi oleh kecepatan arus sungai, gaya torsi yang dihasilkan dari turbin nilai nya akan berubah pula. Seperti yang sudah dibahas pada sub bab sebelumnya bahwa semakin besar kecepatan arus sungai yang digunakan maka nilai dari kecepatan putaran dari turbin dan gaya torsinya juga akan semakin besar nilainya. Berdasarkan hokum

kontinuitas kecepatan air dapat berubah apabila luas penampang berubah namun debit air konstan, sehingga dimensi ukuran turbin harus disesuaikan dengan dimensi ukuran sungai, ini dikarenakan dimensi dari turbin juga sangat mempengaruhi. Bila dilihat pada tabel 4.1 dan 4.3 diatas terlihat bahwa semakin cepat arus sungai yang mengenai turbin maka putaran turbin (RPM) akan semakin tinggi pula, begitu juga dengan gaya torsi yang dihasilkan juga semakin tinggi.

4.2.2 Efek Perubahan Sudut *Pitch*

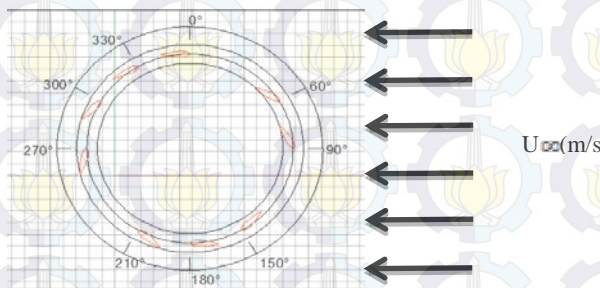
Pada eksperimen ini juga dilakukan juga variasi untuk sudut *pitch* pada *blade* turbin. Variasi sudut *pitch* yang digunakan adalah sudut 10° dan 20° , variasi sudut tersebut digunakan karena pada penelitian sebelumnya pada sudut *pitch* 10° mengalami kenaikan kecepatan putar turbin (RPM) yang linier sehingga patut untuk dilakukan penelitian lagi untuk sudut *pitch* 10° namun menggunakan mekanisme *flapping wing*. Kemudian untuk sudut *pitch* 20° perlu dilakukan penelitian lanjut namun dengan menggunakan mekanisme *flapping wing* juga, ini karena pada penelitian sebelumnya pada sudut *pitch* 20° mengalami penurunan nilai kecepatan putar turbin (RPM) maka dari itu akan diteliti lagi apakah penggunaan *flapping wing* bisa meningkatkan kecepatan putar turbin untuk sudut 20° .

Dari tabel 4.1 dan 4.3 dapat dilihat bahwa semakin besar sudut *pitch* yang digunakan maka semakin besar pula nilai kecepatan putar turbin (RPM) dan nilai torsi nya. Dari gambar grafik 4.1 dan 4.2 juga dapat dilihat bahwa untuk sudut *pitch* 10° dan 20° mengalami kenaikan nilai secara linier sepanjang kenaikan kecepatan arus sungai. Namun untuk sudut *pitch* 10° nilai RPM dan torsi nya lebih kecil dibandingkan dengan nilai RPM dan torsi untuk sudut *pitch* 20° . Semakin besar RPM yang dihasilkan oleh semakin besarnya sudut *pitch* yang digunakan ini disebabkan karena penambahan sudut *pitch* berpengaruh pada *self-start* turbin juga sehingga dapat menghasilkan RPM yang tinggi pula. Namun perubahan sudut *pitch* tidak selalu menghasilkan gaya angkat (*lift force*) yang semakin besar pula.

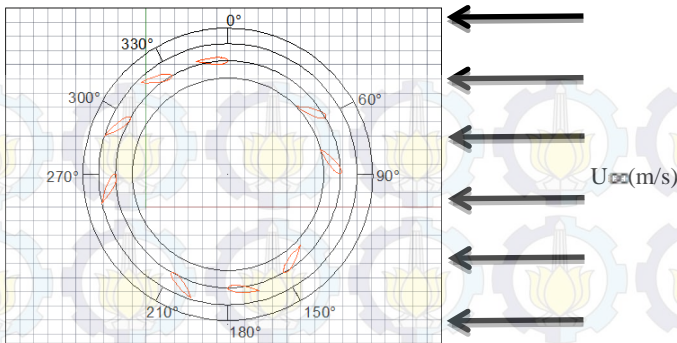
Dari perbandingan gambar 4.1 dan gambar 4.2 bahwa dapat dilihat sudut *pitch* yang paling optimal untuk eksperimen ini adalah sudut *pitch* 20° , ini dikarenakan blade memiliki gerakan *flapping* yang lebih bebas sehingga bisa menghasilkan perbedaan tekanan yang lebih besar antara masing-masing sisi *blade*. Sehingga ketika *blade* posisi sudut putar turbin 270° akan menghasilkan gaya torsi yang besar dan bisa menghasilkan kecepatan turbin yang besar pula.

4.3 Profil Posisi Pergerakan Airfoil

Eksprimen ini juga menganalisa bagaimana pergerakan blade yang berbentuk *airfoil* didalam air ketika turbin tersebut berputar. Pergerakan foil tersebut dilihat dan direkan dengan menggunakan kamera dan dianalisa bagaimana pergerakan dan posisinya didalam turbin. Pergerakan foil tersebut dapat dilihat dengan menggunakan penanda yang telah dipasang pada ujung besi *blade*. Di eksperimen ini hanya satu foil yang dilihat pergerakannya karena pada akhirnya setiap *blade* atau foil tersebut akan mengalami posisi yang sama, sehingga hanya butuh satu foil saja yang akan dilihat pergerakannya. Setiap variasi sudut *pitch* yaitu sudut *pitch* 10° dan 20° akan dilihat pergerakan foil nya sehingga nanti akan diketahui perbedaannya. Berikut adalah gambar pola pergerakan *airfoil* didalam air :



Gambar 4.3. Pergerakan foil pada mekanisme *flapping wing* untuk *pitch angle* 10° .



Gambar 4.4. Pergerakan foil pada mekanisme *flapping wing* untuk *pitch angle* 20 derajat.

Gambar 4.1 dan 4.2 diatas merupakan pola pergerakan foil pada mekanisme *flapping wing* ketika eksperimen dilakukan. Pergerakan setiap foil pada satu putaran penuh didapatkan dengan cara merekam pergerakan turbin dari atas dengan mengatur kamera dalam kondisi 24 fps (*frame per second*).

Berdasarkan pola pergerakan foil pada mekanisme passive pitch menggunakan *flapping wing* diatas, dapat dikatakan bahwa setiap foil pada turbin dikenai tekanan dan atau aliran yang menyebabkan turbin selalu dikenai aliran kearah sudut putaran yang sama untuk *pitch angle* 10 dan 20 derajat. Pada gambar 4.1 dan 4.2 diatas terlihat bahwa turbin yang awalnya dibiarkan bebas (foil lurus dengan arah aliran) kemudian foil akan berputar sejauh 10 derajat dan menyentuh penahan dalam pada saat sudut azimuth putaran 0 sampai 120 derajat, setelah itu foil akan mulai bergerak sejauh 10 derajat dan menyentuh penahan luar mulai dari sudut azimuth 150 sampai 300 derajat. Setelah foil bergerak sejauh 10 derajat dan menyentuh penahan dalam dan luar maka foil akan mulai kembali lurus pada sudut azimuth 300 sampai 0 derajat. Akan terlihat sekali perbedaan pola posisi pergerakan *airfoil* untuk sudut *pitch* 10° dan sudut *pitch* 20°.

4.4 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio (TSR) adalah cara untuk menentukan karakteristik keluaran dari daya turbin arus ini. Hal ini dapat dilihat dengan keluaran daya yang sama, turbin arus yang mempunyai TSR yang besar akan menghasilkan torsi yang kecil sedangkan turbin arus dengan TSR yang kecil akan menghasilkan torsi yang besar. TSR (*Tip Speed Ratio*) merupakan perbandingan antara kecepatan tangensial di ujung rotor terhadap kecepatan fluida yang mengalir turbin tersebut, persamaan tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.2. Dengan diketahui jari-jari dari turbin tersebut lalu kecepatan fluida nya yang mengalir dan nilai kecepatan sudut yang didapatkan dengan mengkonversi nilai RPM pada tabel 4.1 dan 4.2 maka didapatkan nilai TSR sebagai berikut untuk masing-masing variasi kecepatan dan sudut *pitch* :

Tabel 4.5. Nilai *Tip Speed Ratio* untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut *pitch* 10°

Data Ke-	Kecepatan				
	0,67 m/s	0,72 m/s	0,806 m/s	0,98 m/s	1,15 m/s
1	1.52	1.39	1.63	1.36	1.14
2	1.51	1.47	1.69	1.33	1.18
3	1.44	1.50	1.51	1.30	1.26
4	1.48	1.64	1.48	1.33	1.20
5	1.45	1.72	1.49	1.34	1.23
6	1.45	1.61	1.48	1.27	1.23
7	1.50	1.60	1.49	1.23	1.21
8	1.50	1.75	1.53	1.30	1.21
9	1.54	1.61	1.48	1.26	1.25
10	1.51	1.64	1.50	1.09	1.21

Tabel 4.6. Nilai *Tip Speed Ratio* untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut *pitch* 20°

Data Ke-	Kecepatan				
	0,67 m/s	0,72 m/s	0,806 m/s	0,98 m/s	1,15 m/s
1	2.83	2.62	2.37	1.98	1.78
2	2.86	2.66	2.35	1.98	1.78
3	2.77	2.58	2.38	2.01	1.76
4	2.80	2.56	2.41	1.93	1.77
5	2.90	2.63	2.28	1.90	1.74
6	2.83	2.65	2.28	1.95	1.75
7	2.75	2.56	2.37	1.96	1.71
8	2.77	2.56	2.38	1.87	1.80
9	2.79	2.60	2.36	1.89	1.74
10	2.88	2.67	2.36	1.94	1.77

Kemudian setelah didapatkan nilai TSR untuk setiap 10 kali data yang diambil untuk masing-masing variasi kecepatan dan sudut *pitch* maka dibuat tabel rata-rata untuk masing-masing variasi kecepatan dan variasi sudut *pitch* nya. Berikut adalah tabel rata-rata untuk nilai TSR :

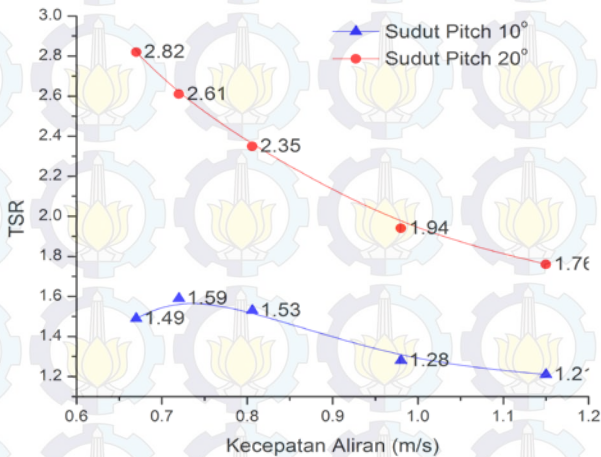
Tabel 4.7. Nilai rata-rata TSR setiap variasi kecepatan pada sudut *pitch* 10°

Kecepatan	Nilai Rata-Rata TSR
0,67	1,49
0,72	1,59
0,806	1,53
0,98	1,28
1,15	1,21

Tabel 4.8. Nilai rata-rata TSR setiap variasi kecepatan pada sudut *pitch* 10°

Kecepatan	Nilai Rata-Rata TSR
0,67	2,82
0,72	2,61
0,806	2,35
0,98	1,94
1,15	1,76

Dari data TSR yang sudah di rata-rata, kemudian dibuat grafik hubungan antara nilai rata-rata dari TSR dengan variasi kecepatan yang diberikan untuk perbandingan masing-masing variasi sudut *pitch*.



Gambar 4.5. Grafik perbandingan nilai rata-rata TSR untuk masing-masing sudut *pitch*

Dari gambar 4.5 dapat dilihat dari grafik tersebut bahwa apabila nilai TSR besar maka torsi yang dihasilkan kecil begitu pula sebaliknya jika nilai TSR kecil maka torsi yang dihasilkan besar. Dari grafik tersebut pada kecepatan fluida paling rendah yaitu pada 0,67 m/s torsi yang dihasilkan nilai nya kecil dan untuk nilai TSR nya besar, sedangkan pada kecepatan paling tinggi yaitu 1,15 m/s nilai torsi yang dihasilkan besar dan nilai TSR nya pun kecil. Hasil perhitungan nilai TSR itu dilakukan untuk setiap variasi sudut *pitch*. Dengan demikian dalam pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh turbin arus sungai, jenis beban yang hendak diberikan harus disesuaikan dengan karakteristik keluaran ini agar mencapai hasil yang maksimal.

4.5 Efisiensi Turbin

Turbin arus sungai vertikal aksis tipe Darrieus ini merupakan alat pengkonversi energi yang banyak digunakan di daerah tropis khususnya di Indonesia. Sebagai alat pengkonversi energi yang baik turbin ini pastinya tidak luput dengan performansi dan efisiensinya. Turbin ini mempunyai performansi dan efisiensi tertentu, Setelah diketahui performansi dan efisiensinya maka nilai performansi dan efisiensi nya dapat menjadi pertimbangan bila nantinya turbin ini bisa atau tidak diaplikasikan untuk kebutuhan masyarakat yang masih banyak kekurangan sumber energi listrik

Nilai daya dari turbin ini dapat diketahui dengan adanya data dari turbin yaitu data rata-rata RPM di konversi kedalam kecepatan sudut dengan satuan rad/s (ω) dan rata-rata Torsi (T). Dengan menggunakan persamaan 2.5. Untuk mengetahui nilai kecepatan sudut nya dari data nilai RPM dikonversi terlebih dahulu ke satuan rad/s. Dari nilai daya tersebut maka bisa pula dicari untuk efisiensi turbin itu sendiri yaitu seperti pada persamaan 2.6 yaitu perbandingan nilai dari daya turbin itu sendiri dengan KEF. Berikut adalah data hasil efisien untuk setiap data dari masing-masing variasi turbin dan variasi sudut *pitch* :

Tabel 4.9. Nilai efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut *pitch* 10°

Data Ke-	Kecepatan														
	0,67 m/s			0,72 m/s			0,806 m/s			0,98 m/s			1,15 m/s		
	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)
1	10.8	38.9	10.35	10.3	38.3	7.83	12.2	50.2	8.67	13.3	50.8	5.32	14.2	50.3	3.48
2	10.3	38.7	9.82	10.3	40.3	8.24	12.3	52.1	9.07	13.3	49.7	5.20	13.8	52.0	3.49
3	11.3	36.9	10.27	11.7	41.3	9.59	13.2	46.5	8.69	12.3	48.5	4.70	13.9	55.2	3.74
4	10.2	37.8	9.50	13.7	45	12.24	13.7	45.7	8.86	13.3	49.7	5.20	14.2	52.8	3.65
5	11.9	37.2	10.91	10.8	47.2	10.12	11.8	45.8	7.65	14.4	50.3	5.70	14.1	54.2	3.72
6	11.8	37.2	10.81	11.5	44.3	10.11	11.5	45.7	7.44	13.7	47.4	5.11	13.7	54.2	3.62
7	11.9	38.5	11.29	10.8	44	9.43	12.9	45.8	8.36	13.9	46.1	5.04	13.8	53.0	3.56
8	10.9	38.4	10.31	11.9	48	11.34	13.1	47.2	8.75	13.3	48.5	5.08	13.8	53.0	3.57
9	10.3	39.5	10.02	10.3	44.3	9.06	13.1	45.7	8.47	14.8	47.1	5.49	14.3	54.7	3.81
10	11.9	38.7	11.35	11.3	45.2	10.14	12.7	46.2	8.30	13.7	40.8	4.40	14.5	53.2	3.76

Tabel 4.10. Nilai efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut *pitch* 20°

Data Ke-	Kecepatan														
	0,67 m/s			0,72 m/s			0,806 m/s			0,98 m/s			1,15 m/s		
	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)	Torsi (N.m)	RPM	η (%)
1	11.8	72.4	21.05	12.7	72.1	6.79	14.2	73.1	14.69	16.7	74.1	6.79	17.8	78.3	6.79
2	11.8	73.1	21.25	13.2	73.2	6.59	14.6	72.4	14.96	16.2	74.3	6.59	17.3	78.2	6.59
3	10.8	70.9	18.86	13.2	71	6.18	15.1	73.2	15.64	15.3	75.4	6.18	16.4	77.3	6.18
4	10.3	71.6	18.17	14.1	70.5	6.79	13.8	74.1	14.47	14.7	72.3	6.79	17.9	77.9	6.79
5	10.5	74.3	19.22	12.1	72.3	6.71	14.8	70.2	14.70	15.2	71.1	6.71	18	76.5	6.71
6	11.2	72.5	20.00	11.5	72.8	6.99	14.2	70.2	14.11	14.5	73.1	6.99	18.6	77.1	6.99
7	10.8	70.5	18.76	13.6	70.4	5.79	14.3	73.1	14.79	17.2	73.4	5.79	15.8	75.2	5.79
8	11.8	70.8	20.58	11.7	70.5	6.73	14.1	73.4	14.65	15.8	70.1	6.73	17.5	78.9	6.73
9	11.7	71.4	20.58	11.8	71.4	6.29	14.2	72.8	14.63	13.9	70.9	6.29	16.9	76.4	6.29
10	11.9	73.8	21.64	12	73.5	6.77	15.2	72.6	15.62	15.3	72.6	6.77	17.9	77.6	6.77

Kemudian setelah didapatkan nilai efisiensi untuk setiap 10 kali data yang diambil untuk masing-masing variasi kecepatan dan sudut *pitch* maka dibuat tabel rata-rata untuk masing-masing variasi kecepatan dan variasi sudut *pitch* nya. Berikut adalah tabel rata-rata untuk nilai efisiensi :

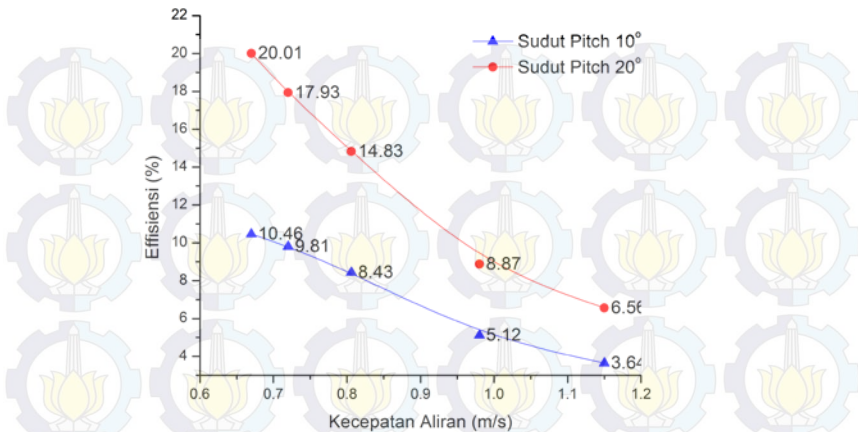
Tabel 4.11. Nilai rata-rata efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut *pitch* 10°

Kecepatan	Nilai Rata-Rata Efisiensi (%)
0,67	10,46
0,72	9,81
0,806	8,43
0,98	5,12
1,15	3,64

Tabel 4.12. Nilai rata-rata efisiensi untuk setiap variasi kecepatan menggunakan sudut *pitch* 20°

Kecepatan	Nilai Rata-Rata Efisiensi (%)
0,67	20,01
0,72	17,93
0,806	14,83
0,98	8,87
1,15	6,56

Dari tabel 4.11 dan 4.12 dapat dibuat grafik hubungan antara efisiensi turbin dan kecepatan aliran. Dari grafik tersebut dibandingkan efisiensi turbin untuk sudut *pitch* 10° dan 20°.



Gambar 4.6. Grafik perbandingan nilai rata-rata efisiensi untuk masing-masing sudut *pitch*

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi 20,01% didapatkan pada variasi kecepatan 0,67 m/s menggunakan sudut *pitch* 20° dan untuk nilai efisiensi terendah dengan nilai 3,64% didapatkan pada sudut *pitch* 10° dengan variasi kecepatan 1,15 m/s. hal tersebut dikarenakan efisiensi turbin berbanding lurus dengan nilai TSR nya, karena nilai TSR sendiri sudah menunjukkan nilai performansi dari turbin itu sendiri. Pada subbab yang telah membahas tentang TSR bahwa nilai TSR tertinggi pada variasi kecepatan 0,67 m/s menggunakan sudut *pitch* 20° dan nilai TSR terendah pada sudut *pitch* 10° dengan variasi kecepatan 1,15 m/s.

4.6 Ripple Torsi

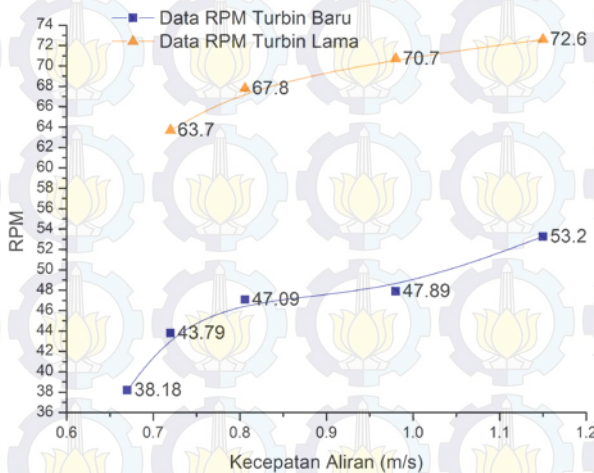
Torsi yang dihasilkan pada turbin dengan sudut *pitch* 20° menghasilkan nilai yang besar dibandingkan nilai torsi yang dihasilkan dengan sudut *pitch* 10°. Torsi terbesar dicapai pada variasi kecepatan aliran yang tinggi yaitu pada kecepatan 1,15 m/s untuk sudut *pitch* 20°. Torsi terbesar yang dihasilkan turbin

menggunakan sudut *pitch* 20° dikarenakan area sapuan turbin nya lebih baik karena blade dari turbin yang menggunakan sudut *pitch* 20° bisa bergerak lebih leluasa dan menghasilkan gaya torsi yang bisa lebih maksimal. Ripple torsi merupakan naik turunnya besar torsi yang dihasilkan oleh turbin. Dari torsi yang dihasilkan oleh turbin yang menggunakan sudut *pitch* 20° , torsi tertinggi yaitu sebesar 18,6 N/m dan torsi terkecil yaitu sebesar 10,3 N/m ini terjadi pada variasi kecepatan 0,67 m/s. Sedangkan pada turbin yang menggunakan sudut *pitch* 10° torsi terbesar dihasilkan pada variasi kecepatan 1,15 m/s juga dengan nilai 14,5 N/m sedangkan nilai torsi terkecil nya terdapat pada variasi kecepatan aliran 0,67 m/s pula dengan nilai torsi nya 10,2 N/m. Sehingga dapat dilihat bahwa semakin besar variasi kecepatan aliran dan sudut *pitch* nya maka semakin besar pula nilai torsi nya. Persamaan gaya dan torsi berbanding lurus. Ripple torsi sangat berpengaruh pada performansi turbin. Jika dibiarkan terus menerus, ripple torsi ini menyebabkan kelelahan pada komponennya (shaft, kopling, dan transmisi). Torsi dan RPM yang dihasilkan dipengaruhi oleh turbin yang dikenai fluida. Fluida yang mengalir pada turbin adalah fluida air yang massa jenisnya sebesar 1000 kg/m³. Pengaruh massa jenis juga mengakibatkan gaya yang dihasilkan pada turbin menjadi semakin besar.

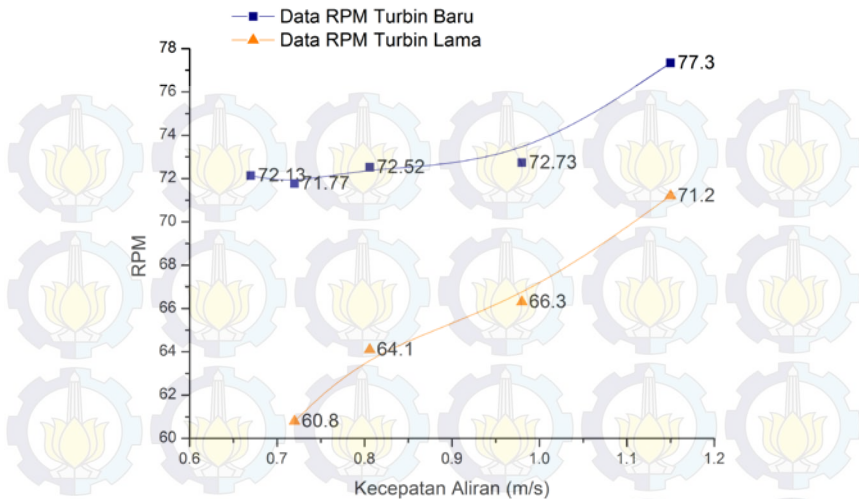
4.6 Pembahasan

Dari hasil eksperimen ini turbin arus sungai vertikal aksis tipe darrieus ini sangat baik untuk pemanfaatan sumber energi terbarukan. Turbin pada eksperimen ini adalah pengembangan dari turbin pada penelitian sebelumnya. Turbin ini menggunakan modifikasi pada mekanisme *stopper* nya atau penahan dari blade nya. *Stopper* ini digunakan untuk memberikan sudut *pitch* pada *airfoil* nya agar tidak bergerak dari sudut yang telah ditentukan, sudut *pitch* yang digunakan yaitu 10° dan 20° . Sedangkan untuk variasi kecepatan yang digunakan hampir sama dengan pada penelitian sebelum namun menambah satu kecepatan yaitu dari 0,67 m/s; 0,72 m/s; 0,806 m/s; 0,98 m/s; dan 1,15 m/s. Kedua variasi tersebut yaitu variasi kecepatan aliran dan sudut *pitch* ini

dapat mempengaruhi kecepatan putar turbin (RPM) dan gaya torsi nya. Dapat dilihat data diatas bahwa yaitu pada tabel 4.1 dan 4.3 semakin besar variasi kecepatan aliran dan variasi sudut *pitch* yang digunakan maka semakin besar juga nilai RPM dan torsi, ini dikarenakan persamaan gaya dan torsi berbanding lurus dan untuk kecepatan berbanding lurus dengan RPM dan torsi. Perubahan kenaikan nilai RPM dan torsi ini diakibatkan efek dari perubahan kecepatan aliran dan perubahan sudut *pitch*. Data RPM yang dihasilkan pada eksperimen ini diambil rata-ratanya untuk setiap variasi kecepatan aliran dan sudut *pitch*, kemudian data tersebut dibandingkan dengan data RPM yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya. Berikut adalah grafik perbandingan data RPM eksperimen ini dengan eksperimen sebelumnya



Gambar 4.7. Grafik perbandingan data RPM dengan eksperimen sebelumnya untuk sudut *pitch* 10° .



Gambar 4.8. Grafik perbandingan data RPM dengan eksperimen sebelumnya untuk sudut *pitch* 20°.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa untuk variasi sudut *pitch* 20° RPM yang dihasilkan lebih bagus daripada RPM yang dihasilkan pada eksperimen sebelumnya. Namun pada variasi variasi sudut *pitch* 10° RPM yang dihasilkan pada eksperimen ini lebih jelek daripada RPM yang dihasilkan pada eksperimen sebelumnya. Ini dikarenakan efek dari modifikasi *stopper* atau penahan blade nya, ketika sudut yang diberikan 10° blade yang bergerak karena dikenai aliran fluida tidak bisa bergerak bebas dan hanya bergerak dengan jarak yang sanagt kecil dan menghasilkan gaya yang kecil pula, sedangkan pada eksperimen sebelumnya *stopper* yang diletakkan diatas *flywheel* bukan didepan blade tidak mempengaruhi aliran yang melalui *blade* turbin sehingga *blade* mendapatkan aliran yang bagus. Untuk variasi sudut *pitch* 20° pada eksperimen sebelumnya *blade* turbin tersebut mengalami *stall* sehingga RPM yang dihasilkan kecil. Namun pada eksperimen ini untuk variasi sudut *pitch* 20° bisa menghasilkan RPM yang lebih baik daripada eksperimen sebelumnya, ini dikarenakan sebelum aliran melalui *blade* turbin aliran tersebut terlebih dahulu melalui *stopper* yang diletakkan

didepan *blade* sepanjang spand sehingga bisa mengurangi *blade* yang akan mengalami *stall* dan menghasilkan RPM yang lebih bagus.

Kemudian untuk bilangan *Reynold* yang dihasilkan oleh turbin dari masing-masing variasi kecepatan aliran dengan menggunakan persamaan 2.8 hasilnya sebagai berikut:

Tabel 4.13. Bilangan Reynold yang Dihasilkan dari Variasi Kecepatan Aliran

Kecepatan Aliran (m/s)	Bilangan Reynold
0,67	$299,11 \times 10^3$
0,72	$321,42 \times 10^3$
0,806	$359,82 \times 10^3$
0,98	$437,5 \times 10^3$
1,15	$513,39 \times 10^3$

Dari hasil bilangan Reynold diatas untuk setiap variasi kecepatan dapat dilihat bahwa aliran yang dihasilkan dari turbin pada eksperimen ini mengalami aliran turbulen, karena batas bilangan reynold untuk aliran laminar dibawah atau kurang dari 2300. Ini berhubungan dengan efek dinding sungai terhadap aliran yang melalui turbin. Dengan lebar sungai tertentu maka dimensi turbin harus didesain dengan dimensi tertentu. Dimensi singai dan betuk dinding sungai juga akan mempengaruhi karakteristik aliran yang dihasilkan. Kontur dinding sungai juga akan mempengaruhi karakteristik aliran yang dihasilkan, ini dikarenakan aliran laminar atau turbulen ini dibedakan berdasarkan karakteristik internal alirannya. Umumnya klasifikasi ini bergantung pada gangguan-gangguan yang dapat dialami oleh suatu aliran yang mempengaruhi gerak dari partikel-partikel fluida tersebut. Kemudian turbin yang diletakkan dalam saluran atau dalam sungai mengalami peningkatan koefisien daya dibandingkan dengan turbin dalam aliran bebas (Goude, dkk., 2013).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

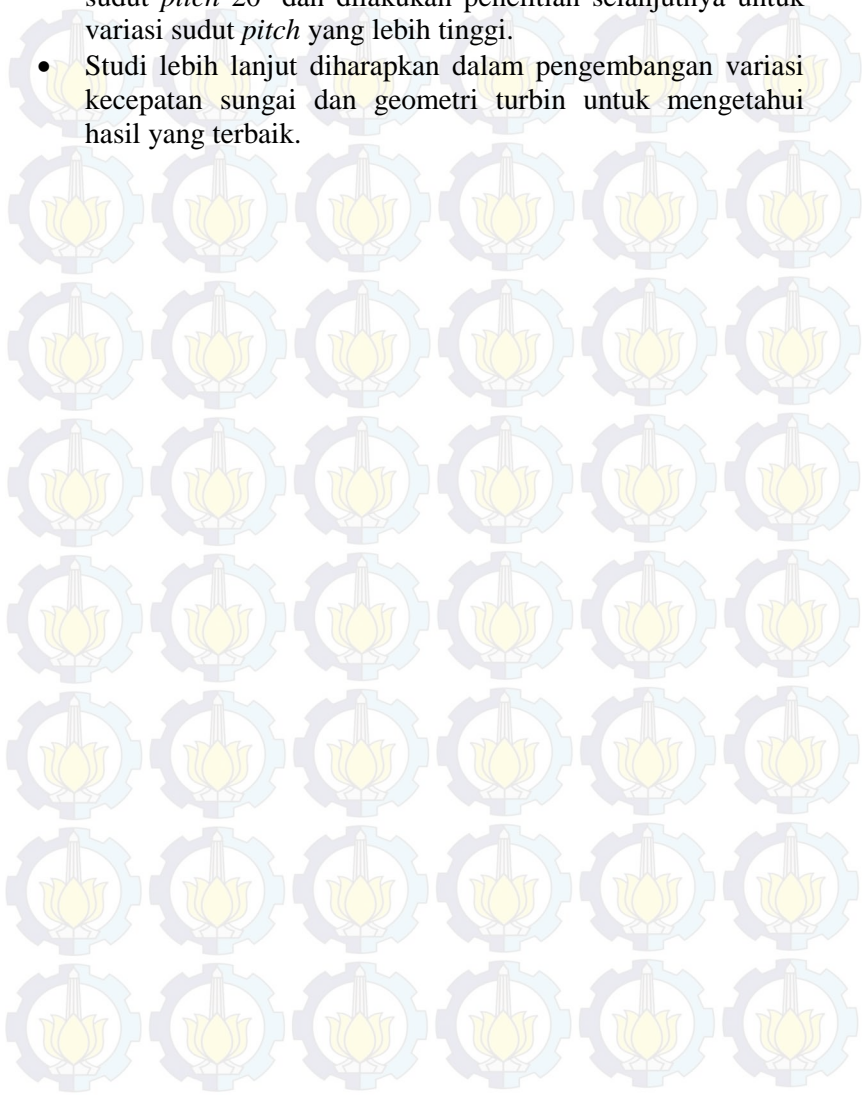
- Kecepatan aliran berbanding lurus dengan kecepatan putar turbin (RPM) dan torsi, semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar pula RPM dan torsi yang dihasilkan.
- Perubahan kecepatan aliran dan sudut *pitch* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan putar turbin (RPM) dan torsi yang dihasilkan.
- Modifikasi untuk *stopper* pada *blade* turbin yang dipasang di depan *blade* turbin dapat mengurangi keadaan *stall* pada *blade* turbin sehingga untuk sudut *pitch* 20° dapat menghasilkan RPM yang lebih tinggi dengan nilai rata-rata 77,34 dengan kecepatan 1,15 m/s dari eksperimen sebelumnya namun tidak untuk sudut *pitch* 10° karena *stopper* untuk sudut *pitch* 10° menghambat pergerakan *blade* sehingga menghasilkan RPM yang rendah
- Efisiensi tertinggi pada kecepatan aliran 0,67 m/s dengan menggunakan sudut *pitch* 20° dengan nilai efisiensi rata-ratanya adalah 20,01%.

5.2. Saran

Beberapa saran yang perlu dipertimbangkan setelah dilakukan eksperimen mengenai variasi sudut *pitch* dan penggunaan mekanisme *flapping wing* untuk *stopper blade* pada turbin *vertical axis* tipe *passive variable pitch* dengan NACA 0018 adalah :

- Mekanisme *flapping wing* untuk *stopper blade* lebih bagus digunakan untuk turbin vertikal aksis untuk 3 *blade*.

- Untuk mekanisme *flapping wing* lebih baik menggunakan sudut *pitch* 20° dan dilakukan penelitian selanjutnya untuk variasi sudut *pitch* yang lebih tinggi.
- Studi lebih lanjut diharapkan dalam pengembangan variasi kecepatan sungai dan geometri turbin untuk mengetahui hasil yang terbaik.



DAFTAR PUSTAKA

- Balaka, R., and Rachman, A. 2012. "Pitch Angle Effect for Horizontal Axis River Current Turbine". **Procedia Engineering** 50 (2012) 343-353
- Xue-ming, S., Ding-yi, P., Jian, D., and Zhao-sheng, Y. 2009. "Numerical Studies on The Propulsion and Wake Structures of Finite-Span Flapping Wings with Different Aspect Ratios". **Journal of Hydrodynamics** 2010,22(2):147-154
- Islam, M., S.-K. Ting, D., and Fartaj, A. 2006. "Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines". **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 12 (2008) 1087-1109
- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T., and Quaicoe, J. E. 2009. "Hydrokinetic energi conversion systems and assessment of horizontal and vertikal axis turbines for river and tidal applications: A technology status review". **Applied Energy** 86 (2009) 1823-1835
- Hantoro, R., Utama, I. K. A. P., Erwandi, and Sulisetyono, A. 2011. "An Experimental Investigation of Passive Variable Pitch Vertical-Axis Ocean Current Turbine". **ITB J. Eng. Sci.**, Vol. 43, No. 1, 2011, 27-40
- Calcagno, G., Salvatore, F., Greco, L., Moroso, A., and Eriksson, H. 2006. "An Experimental Investigation and a Theoretical and Computational Methodology to Study an Innovative Technology for Marine Current Exploitation: the Kobold Turbine". **Bollettino della Comunità Scientifica in Australasia**, December 2006
- Beri, H., and Yao, Y. 2011. "Double Multiple Stream Tube Model and Numerical Analysis of Vertical Axis Wind Turbine". **Energy and Power Engineering**, 2011, 3, 262-270.
- Goude, A., and Ågren, O. 2013. "Simulations of a vertical axis turbine in a channel". **Renewable Energy** 63 (2014) 477-485

- C., Robert. 1978. "Torque Ripple in a Vertical Axis Wind Turbine". **Sandia National Laboratories Albuquerque.**
- Munson, B. R., Young, D. F., and Okiishi, T. H. 2002. "Fundamentals of Fluid Mechanics (4th Edition)". **Iowa State University, USA.**
- McDonald A.T, Fox R W., "Introduction to Fluid Mechanics". **School of Mechanical Engineering, Purdue University, Canada, 1994**
- Paraschivoiu, I. 2002. "Wind Turbine Design with Emphasis on Darrieus Concept". **Polytechnic International Press**
- Birjandi, A. h., 2012. "Effect of Flow and Fluid Structures on the Performance of Vertical River Hydrokinetic Turbines". **Faculty of Graduate Studies of the University of Manitoba, 2012.**
- Ariadi, M, Hishom., "Studi Numerik Dan Eksperimental Performansi Turbin Arus Air Tipe Vertikal Axis dengan Variasi Jumlah Blade Dan Efek Aspect Ratio". **Tugas Akhir Jurusan teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011**
- Ridho, A. 2012. "Studi Numerik Dan Eksperimental Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Dengan Variasi Sudut Pitch Dan Jumlah Blade". **Tugas Akhir Jurusan teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012**
- Setiaji, Akhmad, S., "Studi Numerik Dan Eksperimental Performansi Turbin Vertikal Axis Arus Air dengan Variasi Seri Airfoil Dan Panjang Chord". **Tugas Akhir Jurusan teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011**
- Nurafif, Lutfi, "Rancang Bangun Power Control System Pada Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Tipe Darrieus Menggunakan Generator DC". **Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012**

LAMPIRAN A

- **Fabrikasi Turbin**

Bagian fabrikasi turbin ini adalah hal yang terpenting dalam penelitian ini. Ada beberapa hal yang dilakukan dalam hal fabrikasi turbin ini, diantaranya adalah :

1. **Kerangka Turbin**

Untuk kerangka turbin sendiri masih digunakan kerangka yang sama persis yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Hanya pada kerangka ini pada bagian penahan turbinnya tidak hanya dilakukan pengelasan tapi juga ditambah mur dan baut agar penahan tersebut kuat.



Gambar 1. Kerangka Turbin



Gambar 2. Penahan Turbin dengan modifikasi penambahan mur dan baut

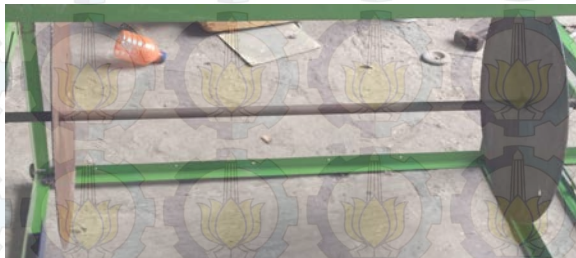
2. Pembuatan *Flywheel* (Piringan Turbin)

Flywheel ini dibuat dari lempengan besi yang berbentuk lingkaran dengan diameter 50 cm dan dibuat lubang tepat ditengah-tengah piringan untuk tempat shaft. Kemudian dibuat lubang lagi sebanyak 3 pasang lubang dengan satu pasang berisi 2 lubang pada posisi tepian piringan untuk peletakan blade dan *stopper*. *Flywheel* ini dibuat 2 bua yang terletak atas dan bawah agar blade tidak bergerak bebas.



Gambar 3. Piringan yang akan dibuat *flywheel*

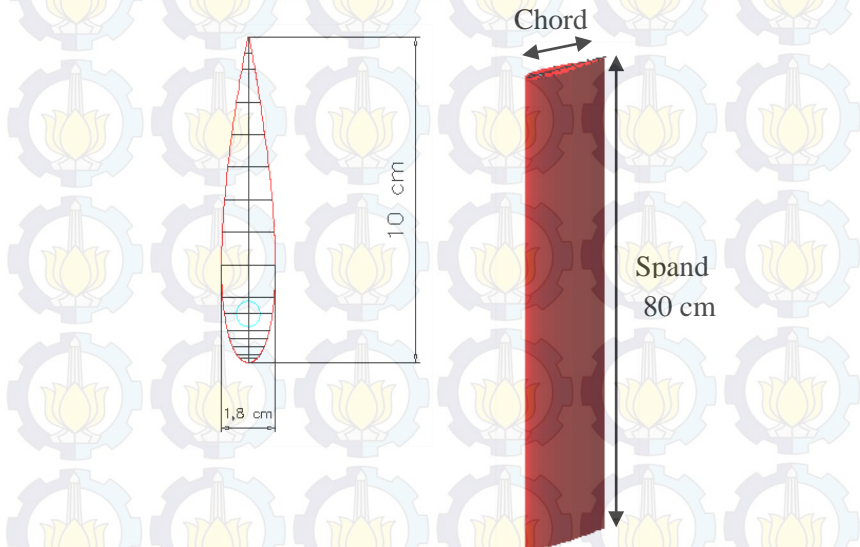
Kemudian setelah piringan dilubangi, maka dilakukan pengelasan *shaft* turbin terhadap dua piringan tersebut. *Shaft* tersebut diletakkan pada posisi tengah piringan yang sudah dilubangi sesuai ukuran *shaft*.



Gambar 4. *Shaft* dan *flywheel* yang sudah menjadi satu

3. *Blade* (Bilah Turbin)

Pembuatan *Blade* turbin ini adalah hal yang utama yang harus dikerjakan, karena *blade* ini mempengaruhi kinerja dari turbin itu sendiri. *Blade* dibuat menggunakan *blade* simetris NACA 0018. *Blade* ini dibuat berbentuk *airfoil* dengan aspek rasionya 8 yaitu perbandingan antara *spand* dan *chord* nya, untuk *spand* nya dibuat sepanjang 80 cm dan untuk *chord* nya dibuat 10 cm. Untuk ketebalan maksimumnya dibuat sebesar 1,8 cm.



Gambar 5. Profil koordinat airfoil NACA 0018

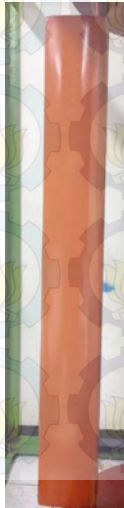
Blade ini dibuat berdasarkan cetakan dari *airfoil* sebelumnya jadi ukuran blade yang digunakan ini dengan blade sebelumnya sama dimensinya. Didalam blade tersebut terdapat besi setebal 5mm agar blade tersebut kuat dan tidak gampang pecah. Kemudian besi tersebut dilapisi serat karbon agar bisa dibentuk seperti cetakannya yaitu berbentuk *airfoil*. Kemudian setelah jadi bentuk *airfoil* kemudian *blade* tersebut dilapisi lagi menggunakan *Mat* (terbuat dari bahan polyester, berguna

sebagai media lapisan permukaan sebuah plat fiber). *Blade* dibuat sebanyak 3 buah.



Gambar 6. Proses pembuatan *blade* turbin sebelum dilapisi lapisan *Mat*

Setelah dilapisi lapisan *Mat* blade sudah siap untuk di cat agar lebih rapi dan bagus.



Gambar 7. Blade yang sudah jadi

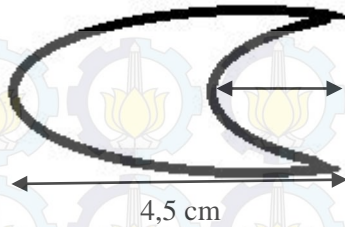
4. *Stopper* (Penahan)

Pembuatan *stopper* atau penahan ini hampir sama dengan pembuatan *blade* diatas, dari bahan baku hingga cara pembuatannya. Namun untuk *stopper* ini hanya berbeda dalam bentuk dimensinya, *stopper* ini mempunyai bentuk hamper mirip dengan *blade* yaitu berbentuk *airfoil*, namun bentuk *stopper* ini hanya setengah panjang *chord* dari blade yaitu 4,5 cm dan panjang *spand* dari *stopper* sama dengan *blade* yaitu 80 cm.



Gambar 8. *Stopper*

Pada gambar 8 yang ditandai dengan lingkaran warna merah adalah *stopper blade*. *Stopper* ini diletakkan persis didepan *blade*, sehingga *stopper* ini dibuat cekungan ke dalam sedalam 2 cm untuk area pergerakan *blade*.

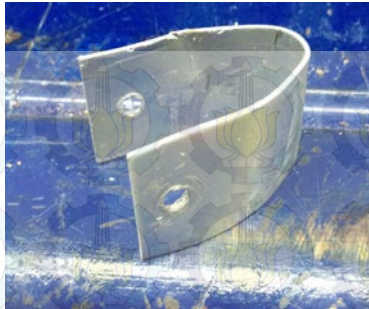


Gambar 9. Bemtuk dimensi *Stopper*



Gambar 10. *Stopper blade*

Pada gambar 9 diatas adalah penempatan *stopper* yang diletakkan didepan *blade*, lalu yang ditandai lingkaran warna merah pada gambar tersebut adalah betuk cekungan kedalam yang dibuat untuk area pergerakan *blade*. *Stopper* tersebut digunakan untuk pergerakan *blade* yang menggunakan sudut *pitch* 20° , untuk modifikasi sudut *pitch* 10° hanya menambah sebuah plat yang di bengkok kana atau dibentuk seperti huruf U dan dipasang pada ujung blade yang berdekatan dengan *stopper*. *Stopper* ini dibuat sebanyak 3 buah sama dengan jumlah *blade*.



Gambar 11. Plat berbentuk U dipasang untuk variasi sudut *pitch* 10°



Gambar 12. Plat yang dipasang pada *blade* untuk modifikasi sudut *pitch* 10°

5. Penggabungan *Blade* dengan *Stopper*

Pada tahap fabrikasi bagian ini adalah penggabungan antara *blade* dengan *stopper*, kedua bagian tersebut harus digabung menjadi satu agar *blade* dapat ditahan pergerakannya tidak melebihi 20° dan untuk 10° hanya ditambahkan plat U dipasangkan pada atas ujung depan *blade* seperti yang sudah dijelaskan diatas. Penggabungan kedua bagian tersebut menggunakan plat besi dengan panjang 6 cm dan lebar 4,5 cm. Plat tersebut dibuat 2 lubang untuk peletakkan *stopper* dan *blade*. Plat tersebut diletakkan pada masing-masing ujung

turbin, sehingga ada 6 buah plat, 2 buah plat untuk setiap pasangan *stopper* dan turbin. Plat ini dibuat agar *stopper* dan *blade* tidak bias dipisahkan dan selalu menyatu.



Gambar 13. Plat dipasang pada ujung atas *blade* dan *stopper*



Gambar 14. Plat dipasang pada ujung bawah *blade* dan *stopper*

6. Pemasangan *Shaft* pada kerangka turbin

Shaft dan *flywheel* (piringan) turbin yang dibuat dan sudah menjadi satu sebelumnya dipasang pada kerangka turbin, lebih tepatnya pada besi penahan turbin yang sudah dipasang pada kerangka turbin. *Shaft* dan *flywheel* yang sudah menjadi satu diletakkan pada posisi tengah kerangka agar kerangka tersebut nantinya pada waktu pengujian alat akan seimbang.



Gambar 15. Peletakan *shaft* dan *flywheel* yang sudah menjadi satu pada posisi tengah kerangka

Kemudian setelah *shaft* dan *flywheel* tadi sudah berada pada posisi tengah akan dipasang 2 buah *bearing* yang dipasang pada ujung atas *shaft* dan ujung bawah *shaft*. *Bearing* dipasang bertujuan agar turbin dapat berputar sempurna ketika dikenai aliran fluida.



Gambar 16. *Bearing*

7. Pemasangan *blade* dan *stopper* pada *flywheel*

Blade dan *stopper* ini dipasang pada *flywheel* yang sudah dilubangi sebanyak 3 pasang lubang, setiap 1 pasang terdapat 2 lubang, 2 lubang tersebut digunakan untuk meletakkan *blade* dan *stopper*. Setelah *blade* dan *stopper* sudah terpasang pada *flywheel*, kemudian *blade* dan *stopper* tersebut di pasang baut agar *blade* dan *stopper* tidak lepas dari *flywheel* dan bisa bergerak sempurna.



Gambar 17. *Blade* yang sudah terpasang pada *flywheel*

8. Pemasangan penunjuk *blade*

Penunjuk *blade* ini diperlukan untuk melihat pergerakan *blade* yang ada didalam air ketika turbin dilakukan pengujian alat. Penunjuk *blade* ini dibuat dari plat besi setebal 2mm dengan panjang 10 cm dan lebar 8 cm. Kemudian pada pojok kiri bawah plat di lakukan pengelasan dengan besi berbentuk silinder yang mempunyai lubang dengan diameter 1 cm dan panjang silinder 2cm. Pada besi silinder tersebut diberi lubang untuk pemasangan baut, baut tersebut digunakan untuk mengeratkan penunjuk *blade* tersebut pada besi *blade*. Jadi ketika *blade* bergerak maka penunjuk tersebut akan bergerak pula sehingga dapat diamati ketika dilakukan pengujian alat.



Gambar 18. Penunjuk blade

9. Pemasangan Kunci Pas

Kunci pas ini dipasang/dilas pada ujung atas *shaft*, ini digunakan untuk melakukan peletakan alat ukur yang akan digunakan untuk mengambil data. Kunci pas tersebut dipasang agar alat ukur *Torque Wrench* dan *Tachometer* dapat dipasang dengan baik dan tidak bergerak ketika *shaft* berputar, sehingga bias didapatkan data yang akurat.



Gambar 19. Kunci pas yang dipasang pada ujung *shaft*



Gambar 20. Turbin sudah jadi

LAMPIRAN B

• Standart Operating Procedure (SOP) Pengambilan Data

1. Persiapkan alat yang akan diuji (Turbin) dan akan diambil data nya sudah siap dan tidak ada masalah pada alat.
2. Persiapkan lokasi pengambilan data sudah siap dan tanpa ada kendala apapun.
3. Tentukan data apa saja yang akan diambil (data yang akan diambil data RPM dan torsi).
4. Gunakan alat ukur *Tachometer* (alat pengukur kecepatan putar turbin/RPM) dan *Torque Wrench* (alat ukur torsi).
5. Persiapkan alat ukur yang akan dibutuhkan dan digunakan untuk mengambil data, hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mempersiapkan alat ukur adalah :
 - ❖ Lakukan pengecekan kelengkapan komponen alat ukur.
 - ❖ Lakukan pengecekan apakah alat ukur masih berfungsi dengan baik atau tidak.
 - ❖ Lakukan pengujian alat ukur terlebih dahulu apakah bias digunakan untuk mengambil data pada alat uji.
6. Tentukan variasi apa saja yang akan digunakan untuk mengambil data (variasi yang digunakan adalah kecepatan aliran dan sudut *pitch*).
7. Buat tabel untuk pengambilan data agar lebih mudah. Tabel yang dibuat adalah tabel data RPM dan torsi untuk setiap variasi kecepatan sungai dan variasi sudut *pitch*.
8. Masukkan alat uji (Turbin) lalu letakkan alat ukur (*Tachometer* atau *Torque Wrench*) di ujung *shaft* turbin lalu ambil data
9. Ambil data untuk variasi sudut *pitch* yang akan digunakan kemudian masukkan variasi kecepatan aliran yang akan digunakan.
10. Ambil data sebanyak sepuluh kali setiap jeda 1 detik pengukuran untuk data torsi.
11. Ambil data sebanyak sepuluh kali setiap jeda 1 detik pengukuran untuk data RPM.



LAMPIRAN C

• Pengujian alat (Turbin)

Pengujian alat (Turbin) ini dilakukan di lokasi pengujian atau lokasi eksperimen di daerah Umbulan, Pasuruan, Jawa Timur. Turbin ini dibawa menggunakan mobil pick up, ini karena ukuran turbin dan kerangkanya sangat besar sehingga dibutuhkan mobil pick up ini untuk dibawa ke lokasi pengujian. Lokasi pengujian alat ini adalah sungai yang mempunyai kecepatan aliran yang tinggi. Sungai ini mempunyai lebar permukaan air 1,02 m dan mempunyai beberapa kedalaman air, dan kecepatan aliran sungai yang berbeda-beda. Turbin ini di uji pada kecepatan aliran sungai 0,67 m/s; 0,72 m/s; 0,806 m/s; 0,98 m/s; dan 1,15 m/s, ini dikarenakan akan dilihat karakteristik kecepatan putar turbin (RPM) dan torsi sehingga akan diketahui perbedaan antara variasi kecepatan aliran sungai. Pada tahap pengujian alat ini dilakukan pengambilan data berupa RPM dan torsi. Mengambil data RPM menggunakan alat ukur *Tachometer* sedangkan untuk mengambil data torsi pada turbin menggunakan *Torque Wrench*. Data RPM dan torsi itu sendiri diambil dari masing-masing variasi pitch yaitu sebesar 10° dan 20° . Dalam pengujian dan pengambilan data dilakukan pada tiap-tiap variasi kecepatan aliran sungai pada titik tertentu sebesar 0,67 s/d 1,15 m/s. Mekanisme pengambilan data menggunakan alat ukur *Tachometer* dengan mencapkan pada ujung shaft yg sudah dipasang kunci pas. Sedangkan untuk pengambilan data torsi menggunakan *Torque Wrench* dengan mencapkan juga pada kunci pas yang terletak diujung shaft, *Torque Wrench* tersebut ditahan pada saat turbin berputar sehingga turbin juga berhenti berputar dan disitu kita dapat mengetahui nilai torsi dari turbin tersebut. Data diambil sebanyak sepuluh data atau sepuluh kali setiap variasi kecepatan dan setiap sudut pitch nya. Jadi total ada 100 data yang didapat. Selain itu pada kerangka turbin juga diberikan penyangga dari bambu untuk mengangkat dan menahan kerangka turbin agar tidak bergerak pada saat pengujian dan

pengambilan data. Pada Gambar 23 dan 24. Menggambarkan proses pengujian dan pengambilan data turbin di lokasi eksperimen.



Gambar 23. Pengecekan alat



Gambar 24. Pengujian alat

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Tulungagung 08 Oktober 1992. Penulis menempuh pendidikan di SDN Panggungrejo lulus tahun 2004, SMPN 1 Tulungagung lulus tahun 2007, dan SMAN 1 Boyolangu lulus tahun 2010. Pendidikan sarjana mulai ditempuh di Jurusan Teknik Fisika ITS tahun 2010. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis aktif berkegiatan di ranah akademik sebagai asisten Laboratorium Pengukuran Fisis selama periode 2012-2013 & 2013-2014.

Pengalaman *internship program* selama 1 bulan di PT PJB MUARA KARANG dengan *project* pengendalian level *steam drum* menggunakan *Differential Pressure Transmitter*. Bidang minat penulis adalah elektronika, energi terbarukan, instrumentasi dan kontrol. Semoga dengan adanya buku ini penulis berharap agar penelitian ini dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya dan berdampak positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia. Penulis dapat dihubungi di email [gggarynda07@gmail.com](mailto:ggarynda07@gmail.com)

“Maka nikmat Allah mana yang engkau dustakan..”

Q.S. Ar-rahmaan.